

Correlação entre cor e propriedades tecnológicas de rochas ornamentais

Júlio César de Souza

José Lins Rolim Filho

Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

DEMINAS/UFPE, 2126 8245, jcsouza@ufpe.br
DEMINAS/UFPE, 2126 8245, zelins@hotmail.com
DEMINAS/UFPE, 2126 8245, mlbarros@ufpe.br

RESUMO

O presente artigo aborda resultados preliminares de pesquisa desenvolvida pelo Grupo de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco que visa estabelecer correlações entre as propriedades tecnológicas de rochas ornamentais e sua cromaticidade. O objetivo final dessa pesquisa é ter-se uma indicação das melhores cores de rochas ornamentais para serem usadas em aplicações específicas, definidas pelas características tecnológicas desejadas.

Os resultados obtidos com o estudo de rochas ornamentais nordestinas, caracterizadas no Departamento de Engenharia de Minas, indicam que existe uma correlação entre cor e propriedades tecnológicas, em especial os índices físicos, e também entre essas propriedades e a textura das rochas, sendo esse aspecto mais significativo quando se avaliam os parâmetros de resistência geomecânica.

A partir desses resultados preliminares espera-se no futuro ampliar a pesquisa incluindo rochas de outras regiões do Brasil, bem como aprofundando os parâmetros de correlação, adicionando-se as propriedades tecnológicas desgaste por abrasão, impacto de corpo duro, alterabilidade química e incluindo-se a correlação com a granulometria média dos cristais.

INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta de forma resumida alguns resultados de ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais nordestinas e sua correlação com características cromáticas e texturais desses materiais.

A partir dos resultados das correlações desse estudo será possível prever o comportamento em termos de propriedades tecnológicas de materiais ornamentais, a partir da sua cor, textura e granulometria. Dessa forma pode-se estimar o comportamento do material na sua fase de aplicação bem como de indicar as melhores cores, texturas e granulometria para determinadas aplicações, caracterizadas pela padronização das características físicas e mecânicas do material desejado.

Como esse estudo está em fase inicial de desenvolvimento os resultados aqui apresentados são preliminares, mas já indicam que existe uma correlação forte entre esses parâmetros, o que significa que poderá ser elaborada futuramente uma clara correlação entre as propriedades físicas e mecânicas com as propriedades cromáticas e geológicas dos materiais ornamentais.

Para elaboração desse estudo foram estudados materiais de diversas colorações oriundos da região nordeste do Brasil, em

especial das Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, caracterizados no DEMINAS/UFPE entre os anos de 2002 a 2004. Foram ensaiados 67 tipos distintos de rocha ornamental e pretende-se no futuro ampliar esse estudo para materiais de outras regiões afim de ter-se uma população estatisticamente mais confiável.

METODOLOGIA

Os materiais foram recebidos na forma de blocos retirados das frentes de lavra ou trabalhos de pesquisa mineral e a partir desses elaboraram-se os corpos de prova e realizaram-se os ensaios tecnológicos de acordo com as normas preconizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os ensaios realizados constaram da determinação dos índices físicos (NBR 12.766), resistência a compressão uniaxial (NBR 12.767) e resistência à flexão (NBR 12.763).

Esses resultados foram então agrupados de acordo com a cor e textura dos materiais pétreos, classificando-se as cores em: branca, amarela, rosa, laranja, marrom, verde, vermelha, preta e cinza e as texturas em: granítica (equigranular), pegmatítica e migmatítica (foliada).

A partir desse agrupamento, quando existiam dados em quantidade suficiente, foram calculados a média dos valores, desvio-padrão e coeficiente de variação (desvio-padrão / média x 100) e assim elaborados gráficos de correlação entre os principais parâmetros tecnológicos. As resistências mecânicas foram analisadas em termos de correlação entre compressão x tração por flexão em função da cor e textura dos materiais. O mesmo foi feito para os índices físicos porosidade x absorção de água.

Os valores médios encontrados para os granitos ensaiados encontram-se na tabela 1 abaixo, com indicação do desvio-padrão e coeficiente de variação para cada grupo principal de granitos:

Material	Vermelhos						Amarelos						Laranja		
	Textura granítica			Textura pegmatítica			Textura granítica			Textura pegmatítica			Textura granítica		
	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ
Compressão (Mpa)	118,00	17,27	14,63	86,19	5,05	5,86	117,72	20,17	17,14	68,01	10,55	15,52	73,61	1,61	2,19
Tração (Mpa)	11,79	4,19	35,54	7,22	1,76	24,44	9,35	3,44	36,78	5,23	1,72	32,87	7,00	1,45	20,72
Peso Esp. Seco (ton/m ³)	2,61	0,02	0,71	2,60	0,01	0,22	2,61	0,05	1,89	2,61	0,02	0,74	2,60	0,03	1,09
Porosidade (%)	0,87	0,55	63,36	1,06	0,24	22,18	1,13	0,45	39,86	1,36	0,60	44,31	0,66	0,23	35,63
Absorção (%)	0,34	0,22	65,29	0,40	0,09	22,50	0,45	0,20	43,77	0,54	0,25	46,79	0,26	0,10	38,07

Rosa						Branco						Cinza					
Textura granítica			Textura migmatítica			Textura granítica			Textura pegmatítica			Textura granítica			Textura migmatítica		
μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ
112,16	18,71	16,68	138,18	9,46	6,85	128,48	28,28	22,01	60,70	7,07	11,64	132,28	19,05	14,40	148,36	6,92	4,67
12,35	1,98	16,02	19,54	5,60	28,68	14,88	3,16	21,22	6,05	1,25	20,73	13,22	2,93	22,17	25,17	5,59	22,19
2,64	0,05	2,00	2,60	0,02	0,59	2,62	0,02	0,70	2,64	0,02	0,69	2,72	0,06	2,07	2,73	0,05	1,82
1,26	0,31	24,52	1,40	0,34	24,53	1,15	0,51	44,15	1,04	0,22	20,77	0,56	0,17	30,10	0,54	0,02	3,97
0,49	0,12	24,11	0,55	0,14	25,00	0,44	0,19	44,30	0,48	0,21	43,51	0,21	0,07	31,04	0,20	0,01	3,63

Verdes						Pretos
Textura granítica			Textura granítica			
μ	σ	δ	μ	σ	δ	
148,36	6,92	4,67	123,39	10,14	8,22	
25,17	5,59	22,19	16,31	1,14	6,99	
2,73	0,05	1,82	2,87	0,08	2,95	
0,54	0,02	3,97	0,68	0,28	41,54	
0,20	0,01	3,63	0,24	0,10	43,50	

μ – média; σ – desvio padrão; δ – coeficiente de variação

Tabela 1) Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de rochas ornamentais em função da cor e textura do material

RESULTADOS OBTIDOS

Resistência Mecânica

A resistência mecânica das rochas ornamentais está ligada diretamente aos minerais constituintes da rocha, gênese e condições de formação geológica. Portanto tanto a cor, definida basicamente pela mineralogia da rocha, como a textura, estabelecida a priori pela gênese da rocha, são elementos de grande importância na definição

da resistência mecânica das rochas ornamentais.

Os gráficos 1 e 2 abaixo mostram a correlação entre os valores de compressão e tração para os diversos tipos de granitos ensaiados no DEMINAS. O gráfico 1 apresenta a equação de correlação geral entre compressão e tração para a amostra ensaiada enquanto o gráfico 2 apresenta o resultado de cada grupo de granitos ensaiado, por cor e textura.

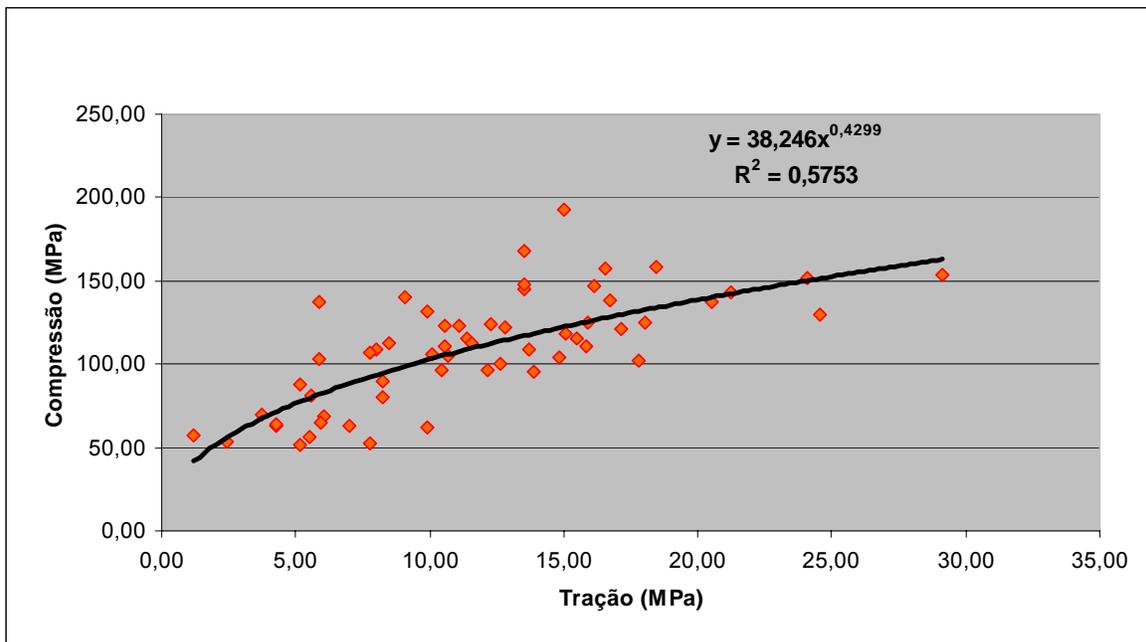


Gráfico 1) Correlação geral entre resistência à compressão simples e tração por flexão

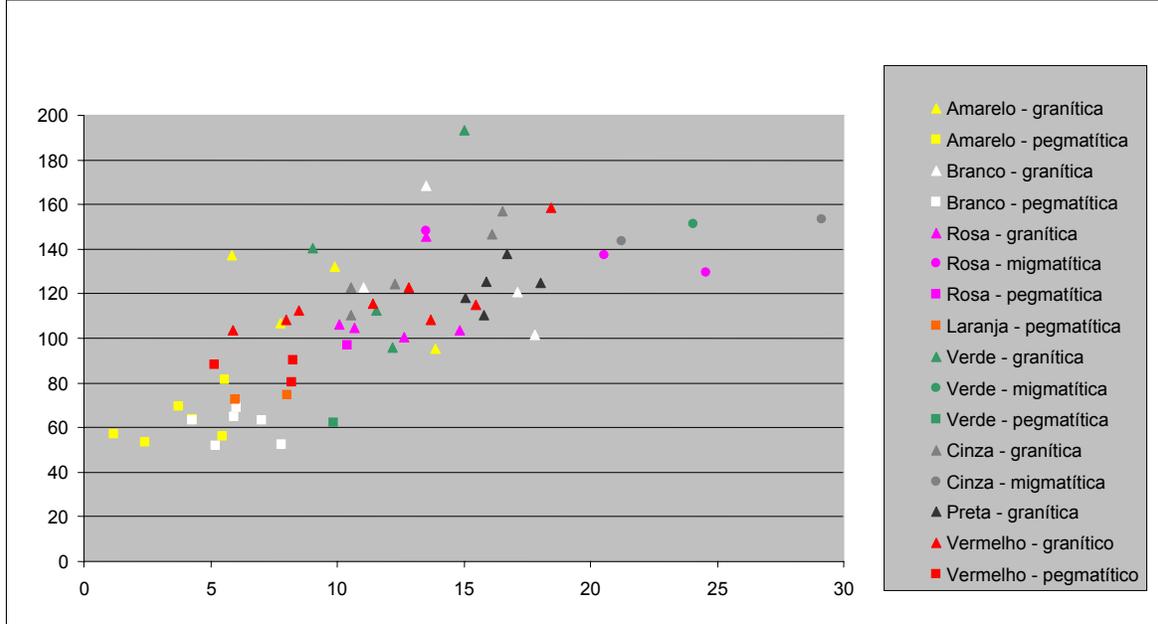


Gráfico 2) Correlação entre resistência à compressão simples e tração por flexão em função da textura e cor das rochas

Compressão simples:

Granitos de textura migmatítica possuem os maiores valores médios de resistência à compressão simples, independentemente da coloração. Os granitos de textura granítica possuem maior resistência à compressão simples que os granitos de textura pegmatítica da mesma cor. Granitos laranja possuem resistência à compressão simples menor em função de serem produto de alteração de granitos pré-existentis. Granitos escuros possuem resistência à compressão maior que os granitos claros, com exceção dos granitos brancos que apresentaram resistência à compressão simples equivalente aos escuros. As maiores resistências à compressão simples foram obtidas para granitos com textura migmatítica com valores médios em torno de 140 a 150 MPa. Para granitos com textura granítica foram obtidas maiores resistências nas cores verde e cinza com valores em média acima de 130 MPa. As menores resistências à compressão simples foram obtidas para granitos de textura pegmatítica claros com valores médios em

torno de 60 a 70 MPa, sendo valores mais altos obtidos com granitos vermelhos de textura pegmatítica. Os coeficientes de variação indicam que há uma maior variabilidade de valores para os granitos de textura granítica, independentemente da cor, com exceção dos granitos pretos que mostram uma menor variabilidade, assim como para os granitos de textura pegmatítica e migmatítica que também possuem menor variabilidade de valores de resistência à compressão simples.

Tração por Flexão

O comportamento mecânico com relação à tração por flexão é semelhante ao padrão apresentado com relação à resistência à compressão simples, com valores de resistência à tração variando em torno de 10 a 15% da resistência à compressão simples. Granitos de textura migmatítica possuem os maiores valores médios de resistência à tração, independentemente da coloração. Os granitos de textura granítica possuem maior resistência à tração que os granitos de textura

pegmatítica da mesma cor. Granitos laranja possuem resistência à tração menor em função de serem produto de alteração de granitos pré-existentes. Granitos escuros possuem resistência à tração maior que os granitos claros, com exceção dos granitos brancos que apresentaram resistência à tração equivalente aos escuros. As maiores resistências à tração foram obtidas para granitos com textura migmatítica com valores médios em torno de 20 a 25 MPa. Para granitos com textura granítica foram obtidas maiores resistências nas cores preta, verde e cinza com valores em média acima de 13 MPa. As menores resistências à tração foram obtidas para granitos de textura pegmatítica claros com valores médios em torno de 7 MPa. Os coeficientes de variação indicam que há uma maior variabilidade de valores de tração do que de compressão simples, independentemente da cor e textura, com exceção dos granitos pretos que mostram uma pequena variabilidade.

Índices Físicos

Os índices físicos, assim como a resistência mecânica, estão diretamente ligados ao tipo de mineral formador da rocha e, em decorrência a sua coloração, bem como a sua gênese, e portanto ao tipo de textura apresentado pela rocha. Esses dois

parâmetros são também de grande importância para a definição dos valores peso específico, porosidade e absorção de água de rochas ornamentais.

Peso Específico Seco

O peso específico a seco dos materiais analisados no presente estudo mostram um valor médio diretamente relacionado com a cor do granito, independentemente da textura por ele apresentada e com pequena variabilidade. Os valores indicam maiores densidades para as rochas mais escuras em função da presença de maior quantidade de minerais máficos, que são mais pesados que os minerais félsicos. Assim temos peso específico a seco variando entre valores ao redor de 2.600 kg/m³ para granitos amarelos, vermelhos, laranja, rosa e branco, passando por valores em torno de 2.700kg/m³ para granitos verdes e cinza até valores próximos a 2.900 kg/m³ para granitos pretos. A variabilidade no peso específico a seco é muito pequena, com coeficientes de variação máximos de cerca de 2 a 3%, o que indica uma uniformidade muito grande de valores de densidade em função da cor apresentada pelo granito.

O gráfico 3 apresenta a relação entre peso específico seco e cor do material.

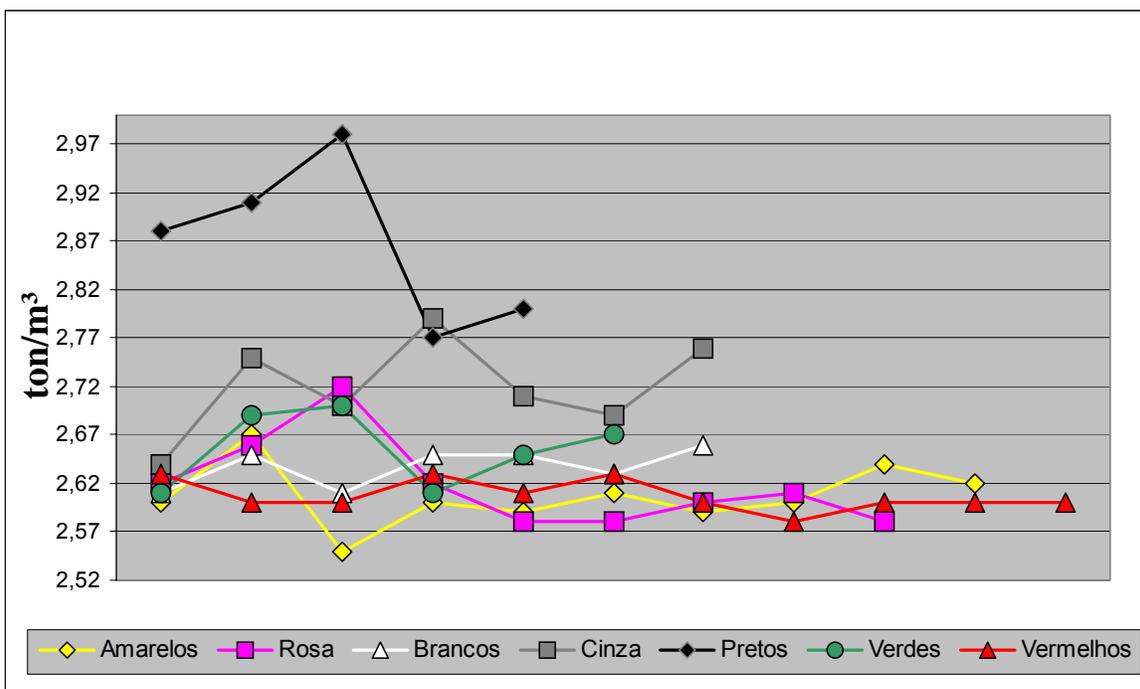


Gráfico 3) Relação entre Peso Específico Seco x Cor

Porosidade e Absorção de água

A porosidade e absorção de água possuem uma relação direta de valores que, para a amostra de granitos estudada, apresenta uma linha de tendência que pode ser caracterizada pela seguinte equação de correlação:

$$y = 0,4031x - 0,0094$$

$$R^2 = 0,9945$$

Na equação de regressão “y” é a porosidade e “x” a absorção de água. Os valores apresentados de porosidade e absorção de água são maiores para os granitos claros em comparação com os granitos mais escuros, se situando ao redor de 1,2 % de porosidade para granitos amarelos e rosa; 1% para granitos brancos; 0,8% para granitos vermelhos e verdes; 0,7% para granitos pretos e laranja até 0,5% para os

granitos cinza que são os menos porosos. A porosidade mostrou um coeficiente de variação muito alto não permitindo estabelecer uma média de valores de porosidade determinística para cada coloração e textura. Assim é mais razoável falar em uma faixa de variação desses valores para os granitos em função da cor que apresentam. A absorção mostra o mesmo comportamento com valores variando entre 0,5% para granitos amarelos até 0,25% para granitos cinza. O coeficiente de variação para os valores de absorção de água também são elevados não permitindo a definição de um valor determinístico para a absorção de água em função da cor e sim de uma faixa de variação para cada cor.

O gráfico 4 mostra de forma clara a correlação existente entre porosidade e absorção de água, independentemente da coloração e textura do material.

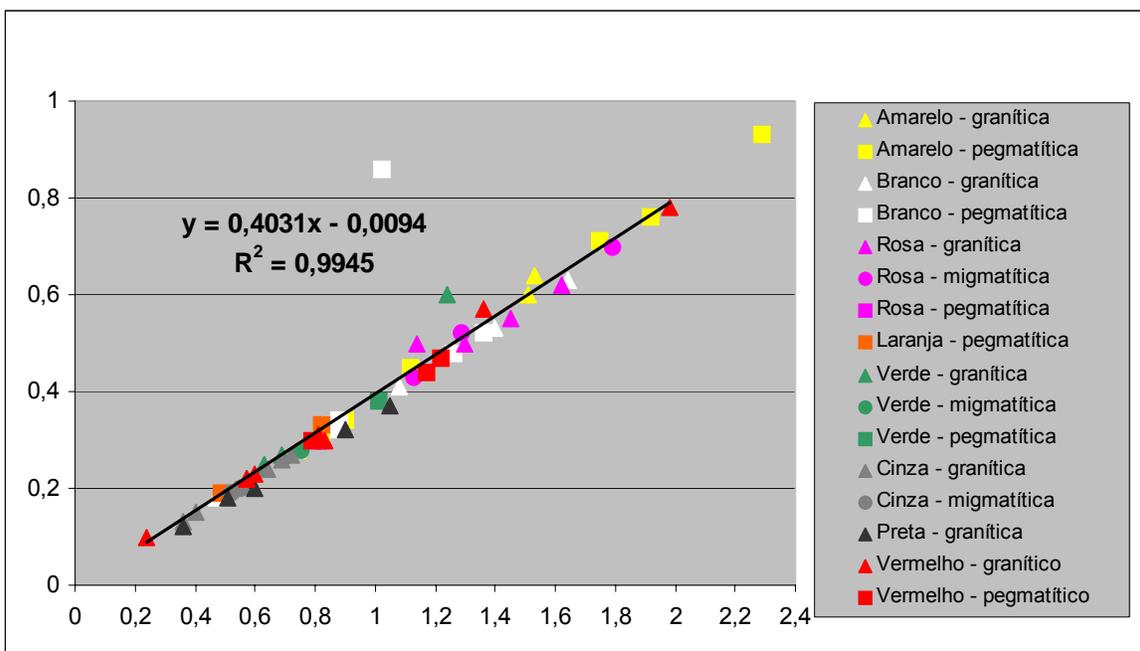


Gráfico 4) Correlação Geral entre Porosidade x Absorção de Água

CONCLUSÕES

A coloração de uma rocha, ligada diretamente a sua composição mineralógica, e a sua textura, produto da classificação petrográfica e tipo de gênese de sua formação, são fatores que possuem grande influência na definição dos parâmetros de resistência mecânica e propriedades físicas dos granitos.

Portanto, sabendo-se as características cromáticas, litologia e textura de uma rocha pode-se estabelecer uma faixa de valores prováveis para as propriedades tecnológicas desses materiais e assim prever seu comportamento e qualidade quando da sua aplicação e utilização.

Os granitos mais claros tendem a apresentar índices de qualidade tecnológica inferiores aos resultados obtidos com granitos de coloração mais escura. Também pode-se dizer que, em termos de textura, os melhores resultados foram obtidos pelos granitos migmatíticos, seguidos pelos de textura granítica e após os pegmatíticos.

O peso específico apresenta uma relação direta com a cor do granito, sendo praticamente independente da textura da rocha. Já os índices físicos porosidade e absorção de água apresentam uma correlação forte entre si que pode ser representada pela equação de regressão $y = 0,4031 \cdot x - 0,0094$ com $R^2 = 0,9945$; independente das cores e texturas apresentadas pelo material.

É necessária a realização de pesquisa mais ampla, com rochas ornamentais de outras regiões do país, a fim de ter-se uma população estatisticamente mais confiável e então gerar-se uma série de gráficos de tendência estabelecendo as relações confiáveis entre cromaticidade, textura, granulometria dos cristais e as propriedades tecnológicas dos materiais ornamentais.

Com isso, a partir da cor, textura e granulometria do material pétreo pode-se estimar o seu comportamento e qualidade na sua aplicação, bem como estabelecer as melhores cores, granulometria e textura de rochas para uma determinada aplicação,

estabelecida pelos valores máximo ou mínimo dos parâmetros de qualidade tecnológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: “NBR 12.763 – Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à Flexão”. Rio de Janeiro, outubro de 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: “NBR 12.766 – Rochas para Revestimento: Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d’Água Aparente”. Rio de Janeiro, outubro de 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: “NBR 12.767 – Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial”. Rio de Janeiro, outubro de 1992.

EFEITO DO AUMENTO DOS CICLOS GELO/DEGELO NO ÂMBITO DA NORMA NBR 12769 PARA AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DE GRANITOS ORNAMENTAIS

Antonio Carlos Artur¹
Henrique Portella Vigário²
Fabiano Cabañas Navarro³

¹ Depto. de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP (19) 3526.2824, acartur@rc.unesp.br, Av. 24A, 1515 - Rio Claro - SP

² Depto. de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP (19) 3526.2809, portella@rc.unesp.br, Av. 24A, 1515 - Rio Claro - SP

³ Divisão de Geologia IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (11) 3767-4769, - fnavarro@ipt.br, Av. Prof. Almeida Prado, 532 (prédio 59) São Paulo - SP

RESUMO

A variação cíclica da temperatura atuante ao longo do tempo é reconhecidamente um dos efeitos deletérios mais efetivos na degradação das rochas. A produção e comercialização de rochas ornamentais brasileiras, principalmente visando à exportação, estão essencialmente direcionadas para fins de revestimentos verticais e horizontais e se destinam basicamente a países de clima temperado, como América do Norte e Europa, e, portanto, sujeitas às constantes ações destes climas bi-modais. Há também de se considerar que o Brasil representa um dos maiores exportadores mundiais de rochas quartzo-feldspáticas, e que essa categoria de rochas é extremamente carente em estudos de caracterização tecnológica.

No Brasil a avaliação do efeito da variação cíclica da temperatura sobre rochas silicáticas pode ser verificada com base nos preceitos ditados pela norma NBR 12769 da ABNT, através do coeficiente de enfraquecimento (K) da rocha após a mesma ser submetida a 25 ciclos de congelamento e degelo. Entretanto, dados da literatura tem revelado que os 25 ciclos preconizados pela referida norma não são suficientes para produzir deteriorações significativas em rochas silicáticas.

No presente trabalho é avaliado o comportamento físico-mecânico de dois granitos com diferentes propriedades

petrográficas submetidas a 100 ciclos de gelo/degelo, divididos em quatro etapas de 25 ciclos, conjugados à compressão uniaxial. Os resultados revelam que mesmo sob condições de alta solitação os granitos foram pouco ou nada afetados, e mostram a necessidade de uma revisão criteriosa da norma NBR 12769, que deve ser orientada por estudos laboratoriais com diferentes tipos de rochas e maior quantidade de ciclos gelo/degelo, para definir a metodologia mais adequada para determinação do decaimento da resistência mecânica (coeficientes de enfraquecimento), especialmente para rochas quartzo-feldspáticas de baixa porosidade.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais representam, na atualidade, umas das mais promissoras áreas de negócios do setor minero-industrial, com um crescimento médio da produção mundial em torno de 7,5% a.a. (Montani, 2004).

No cenário mundial, o Brasil insere-se como um dos grandes produtores e exportadores de rochas ornamentais e para revestimento, sendo que a produção e comercialização brasileira destas rochas, principalmente visando a exportação, estão essencialmente direcionadas para fins de revestimentos verticais (edifícios) e horizontais de interiores e exteriores, e se

destinam basicamente a países de clima temperado.

Nestas condições de utilização a qualificação de um produto depende principalmente de sua resistência à flexão (fundamental para revestimentos verticais), ao desgaste abrasivo, à alterabilidade e ao manchamento, bem como à manutenção do brilho e do coeficiente de dilatação térmica linear. Por outro lado, estas propriedades estão diretamente relacionadas às características naturais dos materiais (composição mineralógica, aspectos texturais e estruturais) e interações com o meio ambiente onde serão empregados, sujeitas a ação de atmosferas quimicamente agressivas, variações de temperatura e de umidade, intensidade de tráfego, ventos, entre outros.

Dentre os agentes responsáveis pela degradação física dos materiais pétreos, causadores das manifestações patológicas, destacam-se os efeitos das variações cíclicas de temperatura que pela sucessiva contração e dilatação das rochas conduzem ao enfraquecimento (fadigamento) da trama rochosa facilitando a infiltração de agentes fluidos que atacam minerais e reduzem a resistência e o brilho, acelerando as reações de alterabilidade e manchamento das rochas para revestimento. Este mecanismo específico de alteração física das rochas deve-se à dilatação termo-diferencial inerente aos minerais constituintes das rochas, com efeitos mais pronunciados nas rochas poliminerálicas, e em decorrência do aumento volumétrico da água presente nos poros e microfissuras, que pode atingir 9% ao passar do estado líquido para o sólido. A ação destes processos físicos pode induzir o aparecimento de tensões internas na rocha, conduzindo, ao longo do tempo, ao surgimento e propagação de microfissuras com a conseqüente degradação progressiva do material, o que pode comprometer sua performance na obra.

No Brasil, a avaliação do efeito de variações cíclicas de temperatura na resistência de uma rocha é determinado segundo a norma NBR 12769 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992a), expresso pelo coeficiente de enfraquecimento (K) obtido pela razão entre

resistência à compressão uniaxial da rocha após 25 ciclos gelo/degelo e a resistência à compressão uniaxial em estado natural.

Apesar do incontestável efeito deletério decorrente das variações cíclicas de temperatura sobre as rochas, principalmente em climas temperados, os resultados de ensaios de congelamento/degelo disponíveis para rochas graníticas brasileiras (Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil - ABIROCHAS 2003; Barroso e Barroso 2003) revelam que estas rochas praticamente não são afetadas pelos 25 ciclos preconizados pela referida norma da ABNT. Barroso e Barroso (2003) demonstram que a variação percentual da resistência à compressão uniaxial de rochas quartzo-feldspáticas de baixa porosidade, no estado natural e após a ciclagem, é da mesma ordem de grandeza ou mesmo menor que a variabilidade intrínseca a esta propriedade tecnológica, o que leva supor que o número de ciclos proposto pela norma NBR 12769 é insuficiente para produzir efeitos sensíveis sobre rochas desta natureza.

Neste contexto, o presente estudo investiga o comportamento mecânico de duas rochas graníticas ornamentais submetidas a quatro etapas de 25 ciclos de congelamento e degelo (perfazendo um total de 100 ciclos de gelo/degelo) conjugados à compressão uniaxial. Também foram realizadas análises petrográficas dos granitos utilizados, determinações dos índices físicos e da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais dos corpos de prova ao longo de todas as etapas dos ensaios, visando o acompanhamento e a compreensão das possíveis variações nas propriedades físico-mecânicas (degradação) dos materiais estudados. Pretende-se com os estudos analisar o efeito de um maior número de ciclos de gelo/degelo no âmbito da norma NBR 12769 para avaliação do decaimento da resistência à compressão uniaxial de granitos ornamentais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizadas amostras de dois granitos ornamentais do Pólo Produtor de Bragança Paulista (Mello, 2000; Artur et al., 2004) detentores de diferentes aspectos texturais e estruturais, comercialmente denominados de Cinza Bragança e Azul Fantástico. Os dois materiais pertencem ao batólito granítico Socorro (SP/MG) (Artur et al., 1991; 1993; Artur, 2003), sendo que o Azul Fantástico refere-se a um granito megaporfírico gnaissificado explorado pela Empresa de Mineração BRAMINAS, com sede na cidade de Bragança Paulista, e o Cinza Bragança a um granito equigranular isotrópico que foi explorado experimentalmente pela Empresa DA PAZ, também sediada na cidade de Bragança Paulista. A utilização de dois granitos com feições texturais e estruturais bastante distintas visa a avaliação comparativa da influência da anisotropia, granulação, grau de fraturamento e relações de contatos minerais na resistência mecânica oferecida pelas referidas rochas quartzofeldspáticas frente às várias etapas de ciclos de congelamento e degelo a que foram submetidas.

Após a caracterização petrográfica os granitos foram submetidos ao teste de congelamento e degelo conjugados à compressão uniaxial conforme preconizado pela norma NBR 12769 (ABNT, 1992a), ou seja, pelo menos 5 corpos-de-prova cúbicos com arestas entre 7,0 cm e 7,5 cm de cada um dos granitos foram submetidos à compressão em estado natural e outros 5 após 25 ciclos de congelamento e degelo. Adicionalmente foram confeccionados para cada rocha estudada mais 15 corpos-de-prova subdivididos em três conjuntos, que passaram, respectivamente, por 50, 75 e 100 ciclos de congelamento e degelo. Para o granito Azul Fantástico, detentor de estrutura grosseiramente gnaissificada, foram executados ensaios com carregamento normal (para 3 dos cubos) e paralelo (em

2 dos cubos) à foliação dos corpos-de-prova em todas as etapas dos testes de compressão.

Os corpos-de-prova foram monitorados em todas as etapas dos ciclos de gelo/degelo através da determinação dos índices físicos segundo a norma NBR 12.766 (ABNT, 1992b) e das respectivas velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas de acordo com o preconizado pela norma ASTM D 2845 (ASTM 1990). As medidas de propagação das ondas ultra-sônicas foram efetuadas em cada um dos cubos submetidos aos esforços de compressão, através de medidas ao natural e após cada conjunto de ciclagem de gelo/degelo, e igualmente sob condições de saturação em água.

As análises petrográficas e os ensaios tecnológicos foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP.

ASPECTOS PETROGRÁFICOS

Os granitos Azul Fantástico e Cinza Bragança utilizados nos testes de caracterização tecnológica foram analisados sob seus aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, cuja síntese dos principais resultados encontra-se reunidos no Quadro 1. Os dados das análises petrográficas são comparados com os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos, visando uma melhor compreensão do comportamento físico-mecânico das rochas estudadas. A importância dos aspectos petrográficos na qualificação das rochas ornamentais foi discutido, entre outros autores, por Rodrigues et al. (1996; 1997), Navarro (1998), Artur et al. (2001), Navarro e Artur (2002).

Granito Azul Fantástico

Corresponde a um biotita monzogranito megaporfírico serial grosseiramente gnaissificado com matriz de granulação média a grossa. É considerado como a rocha ornamental mais exótica do Estado de São Paulo e

sua denominação comercial *Azul Fantástico* deve-se a presença de grãos de quartzo de coloração azulada imersos em uma massa feldspática de coloração cinza rosada (Figura 1A).

A estrutura gnáissica é do tipo protomilonítica, gerada em zona de cisalhamento dúctil-rúptil, e caracteriza-se por certo estiramento e achatamento dos grãos de quartzo e feldspatos, associados à moderada isorientação dos megacristais de feldspato potássico e de lamelas de biotita.

Os megacristais são de microclínio e representam cerca de 20% do volume da rocha. Apresentam formas e

dimensões variadas, podendo ser retangulares a ovalados, irregulares e mesmo laminados, de aspectos seriais com dimensões variando desde cerca de 0,5 cm x 2,0 cm até 3,0 cm x 6,5 cm. Encontram-se moderadamente pertitizados, com freqüentes inclusões de biotita, minúsculos cristais de plagioclásio e de quartzo concentrados preferencialmente próximos às bordas. Os megacristais são límpidos, com discretos efeitos de sericitização e argilização restritos aos planos de clivagens e de microfissuras. O grau de microfissuramento é baixo a moderado, mas no geral mais elevado que o presente nos demais minerais da matriz rochosa.

Quadro 1: Síntese dos dados petrográficos dos granitos Azul Fantástico e Cinza Bragança.

Mineralogia (%)		Azul Fantástico	Cinza Bragança
Quartzo		25,0	27,0
Microclínio (total/megacr.)		30,0 / 20,0	34,0
Plagioclásio		27,0	28,0
Biotita		16,0	7,7
Opacos		0,5	0,7
Titanita		Tr	0,3r
Apatita		0,2	0,1
Epidoto		0,3	0,5
Sericita		0,5	0,8
Carbonatos		Tr	Tr
Clorita		Tr	Tr
Argilominerais		0,5	0,9
Óxidos de Ferro		Tr	Tr
Granulação (mm)	variação	0,5 a 65,0	0,5 A 10,0
	predomínio	0,8 a 20,0	2,0 A 5,0
Classificação (QAP)		BIOTITA MONZOGRANITO PORFIRÓIDE SERIAL	MONZOGRANITO EQUIGRANULAR MÉDIO
Estrutura		Grosseiramente gnaissificada	Isotrópica
Textura		Megaporfirítica com matriz média/grossa	Equigranular
Microfissuras/mm²		1,8	0,8
Transformação mineral		Incipiente	Incipiente a moderado

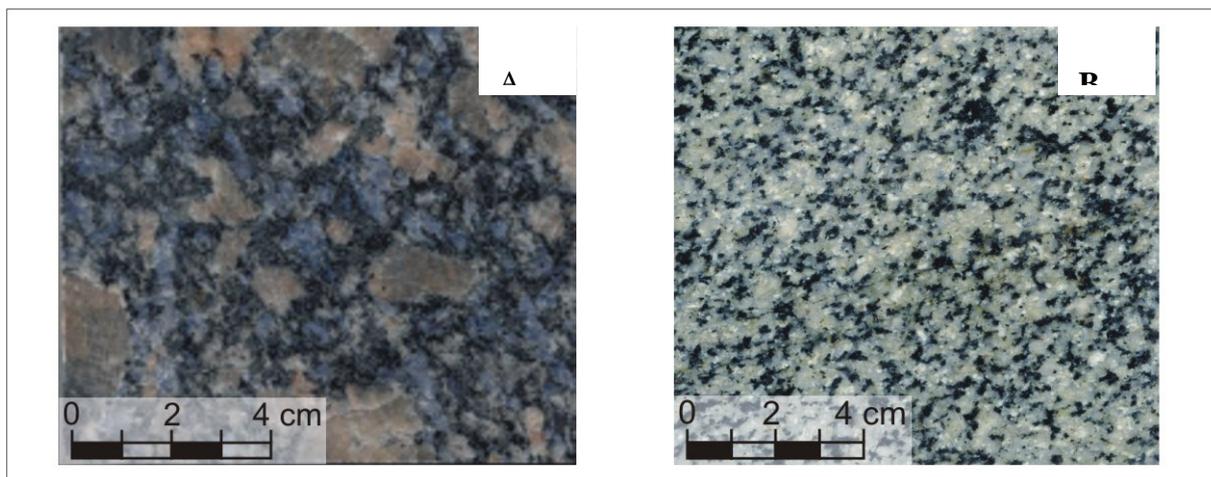


Figura 1: Placas polidas dos granitos Azul Fantástico (A) e Cinza Bragança (B).

A matriz é inequigranular, moderadamente protomilonítica (Figura 2), com granulação média dos cristais na faixa de 2 mm a 8 mm, e que podem gradar até as dimensões dos fenocristais. É composta por quartzo (25%), microclínio (10%), plagioclásio representado pelo oligoclásio

(27%) e biotita (16%) e pelos acessórios representados por opacos, apatita, titanita e allanita, além dos minerais secundários como sericita, epidoto, clorita, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro e argilas em teores ínfimos (Quadro 1).

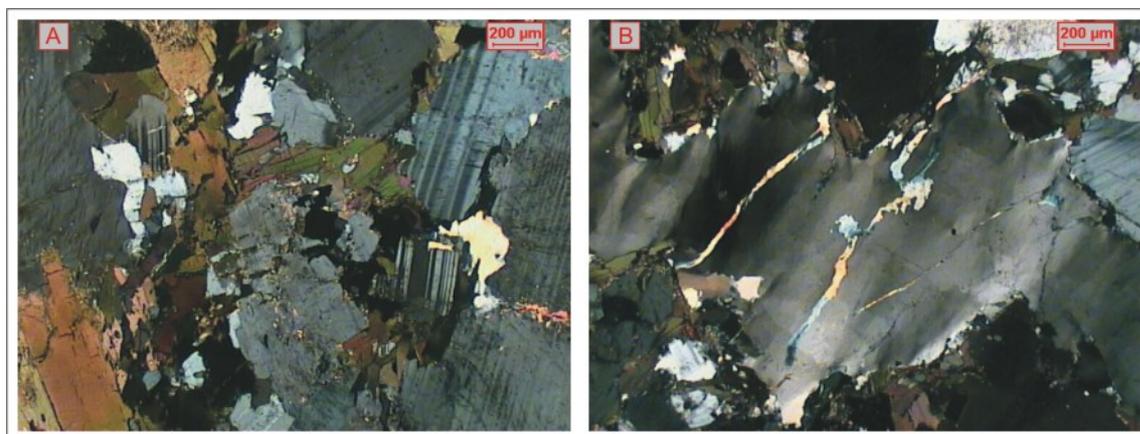


Figura 2: Fotomicrografias mostrando algumas feições gerais da matriz do granito Azul Fantástico (nicóis cruzados). **(A):** notar o bom engrenamento mineral e presença de discretos efeitos deformacionais; **(B):** detalhe de microfissuras abertas e preenchidas por sericita e epidoto, presentes em cristal de quartzo com moderada extinção ondulante.

O contato mineral predominante é do tipo côncavo-convexo (Figura 2A), perfazendo em média 60% dos tipos de contatos, ocorrendo também os tipos planos (cerca de 13% dos contatos), restrito às porções de concentração de lamelas tabulares de biotita, e serrilhado (aproximadamente 27%) presente nos agregados

monominerálicos de grãos de quartzo das porções com textura tipicamente protomilonítica.

A alteração mineral é incipiente, ocorrendo em grande parte nos megacristais de feldspato potássico através de argilomineralizações e, por vezes, discreta saussuritização dos cristais de plagioclásio e cloritização parcial de cristais de biotita.

O microfissuramento é moderado, em média de 1,8 microfissuras/mm², e se mostram orientadas de forma paralela a subparalelamente em relação à foliação. Apesar de apresentarem planos bem desenvolvidos, tanto sob a forma intergranular quanto intragrãos, mostram baixa intercomunicabilidade entre si e, na maioria das vezes preenchidas por sericita, epidoto e algum carbonato (Figura 2B).

Granito Cinza Bragança

É representado por um monzogranito equigranular de granulação média, com coloração geral cinza claro (Figura 1B). Apresenta estrutura isotrópica, textura fanerítica média, hipidiomórfica, com granulação média a média/fina oscilando entre 0,5 mm e 10,0 mm, com predominância entre 2,0 mm a 5,0 mm. Microscopicamente, exhibe pequenas porções e delgadas faixas mais ou menos contínuas, estas de aspecto

geral anastomosada, com evidentes efeitos deformacionais resultantes de intensa microgranulação dos minerais, ocasiões em que a granulação pode se situar abaixo dos 0,2 mm (Figura 3). Apresenta, por vezes, discretos sinais de deformações tardias caracterizadas por cristais de quartzo microfissurados e com moderada extinção ondulante.

Sua composição modal está representada por cerca de 27% de quartzo, 34% de microclínio, 28% de plagioclásio, representado pelo oligoclásio, e cerca de 7,7% de biotita, e por acessórios como opacos, apatita, titanita e allanita, além dos minerais secundários sericita, epidoto, carbonatos, óxidos de ferro e argilominerais (Quadro 1).

Os contatos entre os grãos minerais são predominantemente côncavo-convexos, totalizando cerca de 80%, podendo ser planares nas porções microgranuladas, denotando boa recristalização superimposta aos processos deformacionais. Contatos minerais serrilhados são raros, e no geral a rocha exhibe excelente entrelaçamento mineral (Figuras 3A e 3B).

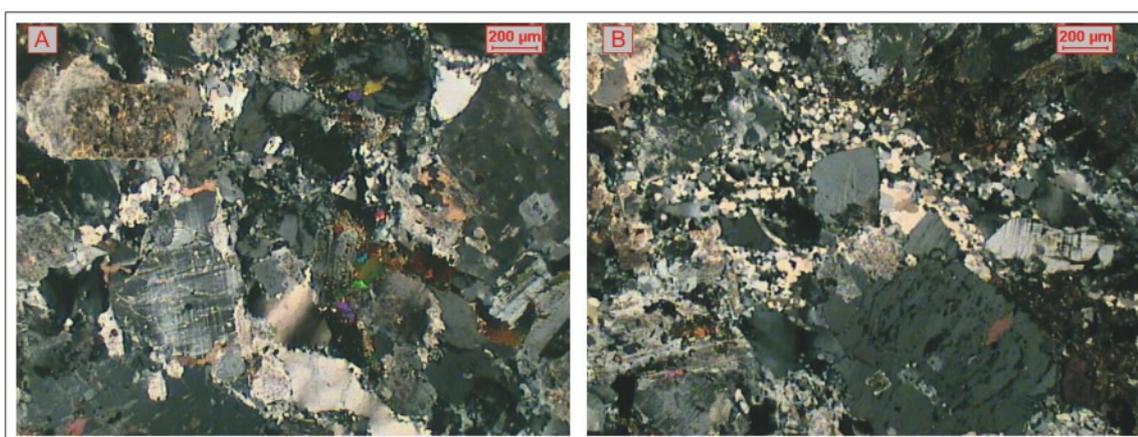


Figura 3: Fotomicrografias mostrando feições gerais do granito Cinza Bragança (nicóis cruzados). (A): notar, entre outros aspectos, o bom engrenamento mineral, bordas de grãos minerais e porções lenticularizadas microgranuladas e presença de cristal de plagioclásio (lado superior esquerdo) saussuritizado; (B): detalhe de intensa microgranulação mineral.

O grau de alteração é incipiente, estando mais evidente nos cristais de plagioclásio com as maiores dimensões, ocasiões em que se manifestam nas suas porções centrais através de moderada saussuritização (Figura 3A). Também as lamelas de biotita encontram-se, por vezes, parcialmente cloritizadas.

O grau de microfissuramento do granito é baixo a moderado, na média menos que 1,0 microfissuras/mm², predominantemente do tipo intragrão, e localmente intergrão devido a discreto efeito deformacional superimposto.

RESULTADOS, ANÁLISES E INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os resultados das médias dos dados obtidos nas determinações dos índices físicos, da propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e de resistência à compressão uniaxial conjugado aos ciclos de

congelamento e degelo para os granitos estudados encontram-se reunidos no Quadro 2, e seus valores representados nas Figuras 4, 5 e 6.

Cabe, inicialmente, ressaltar que os resultados de resistência à compressão uniaxial ao natural, índices físicos (massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água) e velocidade das ondas ultra-sônicas longitudinais fornecidos pelos referidos granitos (Quadro 2) apresentam médias que superam aos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) para rochas silicáticas brasileiras, ou seja, ≥ 100 MPa para a compressão uniaxial, ≥ 4.000 m/s para a ondas ultras-sônicas; $\leq 1,0\%$ para a porosidade e $\leq 0,4\%$ para absorção d'água, qualificando-os como bons materiais no tocante a estes parâmetros. Entretanto, o granito Azul Fantástico apresentou resistência à compressão uniaxial (116,4 MPa) pouco inferior ao estabelecido pela ASTM C 615 (1992), que seria ≥ 131 MPa.

Quadro 2 - Propriedades tecnológicas dos granitos Azul Fantástico e Cinza Bragança ao natural e após quatro etapas de ciclos de gelo/degelo.

Ciclos	Índices Físicos				Compressão Uniaxial			³ Vp (m/s)	
	Massa específica (kg/m ³)		Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)	¹ Tensão de Ruptura (MPa)	² Coef. Var. Tensão de Ruptura (%)	¹ Coef. de Enfraquec. (%)	Ao natural	Após ciclos
	Seca	Saturada							
Azul Fantástico									
Ao natural	2770	2775	0,54	0,20	116,4	9,2	---	6267	---
25 ciclos	2770	2777	0,68	0,25	115,7	7,3	0,99	6270	6302
50 ciclos	2770	2777	0,68	0,25	106,8	15,1	0,92	6272	6295
75 ciclos	2768	2775	0,69	0,25	105,7	9,6	0,91	6273	6305
100 ciclos	2772	2778	0,62	0,22	108,2	3,8	0,93	6282	6314
CINZA BRAGANÇA									
Ao natural	2688	2693	0,59	0,22	165,5	5,3	---	6336	---
25 ciclos	2679	2686	0,68	0,25	153,9	4,0	0,93	6301	6365
50 ciclos	2686	2692	0,63	0,23	159,4	6,4	0,96	6365	6376
75 ciclos	2683	2690	0,70	0,26	164,3	9,0	0,99	6328	6371
100 ciclos	2687	2693	0,60	0,22	173,7	5,9	1,05	6382	6393

¹ Ensaios sob condições saturadas.

² Coeficiente de variação da tensão de ruptura (razão entre desvio padrão e média das tensões de rupturas).

³ Vp: velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais sob condições saturadas.

Índices Físicos

Os índices físicos compreendem à massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água (Quadro 1). Os dados mostram que no geral o granito Azul Fantástico apresenta massa específica pouco mais elevada que a do granito Cinza Bragança, o que está coerente tendo em vista o maior teor de biotita do primeiro, e que ambos os granitos se caracterizam por apresentarem baixas porosidades aparentes e absorções d'água, com valores bastante similares entre si (Figura 4).

Os dados ainda revelam que o efeito dos conjuntos de ciclagens de congelamento e degelo aplicados às amostras dos granitos foi bastante discreto e praticamente não afetaram os valores dos índices físicos destas rochas. Os maiores efeitos se devem às diferenças verificadas entre os valores da porosidade ao natural e após o primeiro conjunto de 25 ciclos de gelo e degelo, com aumento de cerca de 20% para o granito

Azul Fantástico e ao redor de 15% para o Cinza Bragança, mantendo-se, a partir daí, praticamente constantes para os 50 e 75 ciclos. Destaca-se que após os 100 ciclos de gelo e degelo, os granitos apresentaram valores de porosidade bastante próximos aos do estado natural, com acréscimos de 9% para o granito Azul Fantástico e de 2% para o Cinza Bragança.

O comportamento das variações dos valores da absorção d'água e da massa específica aparente saturada apresentados pelos dois granitos mostram, em termos gerais, boa correlação com as porosidades ao natural e após as etapas de congelamento e degelo (Quadro 2).

Os resultados relativos à porosidade e à absorção d'água sugerem que os 100 ciclos de congelamento e degelo aplicados não foram suficientes para induzir microfissuras nos granitos analisados ou que a comunicação entre os planos e a permeabilidade/capilaridade não foi afetada.

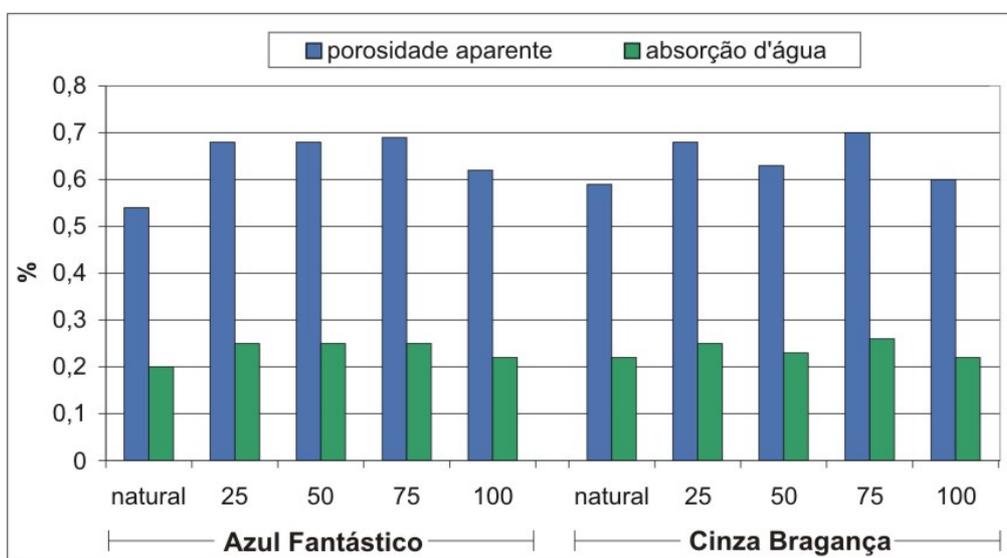


Figura 4: Correlação entre porosidade aparente e absorção d'água no estado natural e após a ação dos ciclos de gelo e degelo para os dois granitos estudados.

Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas (Quadro 2) são ligeiramente maiores para as amostras do granito Cinza Bragança, o que está coerente com suas características petrográficas, ou seja, granulação mais fina, menor intensidade de microfissuramento mineral e estrutura isotrópica, ao passo que o Azul Fantástico corresponde a um granito megaporfirítico gnaissificado, de aspecto protomilonítico, portanto um meio mais heterogêneo.

Os resultados também revelam que após as ciclagens de gelo/degelo a velocidade de propagação das ondas experimentam um discreto aumento, com uma média ao redor de 30 m/s para o Azul Fantástico e entre cerca de 10 e 65 m/s para o Cinza Bragança. Considerando-se que as determinações foram sempre efetuadas em corpos-de-prova saturados em água, este aumento da velocidade, embora sutil, é corroborado pelo também discreto aumento da absorção d'água exiba pelos granitos (Quadro 2; Figura 4).

A constatação do aumento da velocidade das ondas ultra-sônicas também vem a demonstrar que as ciclagens aplicadas, mesmo após os 100 ciclos de gelo/degelo, não provocaram um efeito deletério perceptível aos referidos granitos.

Gelo/Degelo Conjugado à Resistência à Compressão Uniaxial.

Os resultados dos testes de congelamento e degelo conjugados à compressão uniaxial, objetivo principal da presente pesquisa, encontram-se reunidos no Quadro 2 e representados nas Figuras 5 e 6. Visando uma melhor avaliação dos valores dos coeficientes de enfraquecimento (K) apresentados pelos granitos, calculou-se a dispersão dos valores das tensões de ruptura dos corpos-de-prova ao natural e após as ciclagens, expresso, em porcentagem, pela razão entre o desvio padrão e a média dos resultados dos respectivos ensaios (Quadro 2).

Conforme comentado na introdução do presente trabalho, Barroso & Barroso (2003) concluíram após a análise de um considerável número de dados disponíveis na literatura, bem como de novos dados por eles obtidos, que os 25 ciclos de gelo e degelo preconizados pela norma NBR 12769 da ABNT (1992a) são insuficientes para produzir efeitos deletérios sensíveis sobre rochas quartzo-feldspáticas de baixa porosidade. Consideram que a definição do número de ciclos de congelamento e degelo necessários para produzir algum efeito de degradação nestes tipos de rochas estaria, em síntese, na dependência do conhecimento do efeito do congelamento sobre a propagação de fraturas na rocha em função da pressão ocasionada pela expansão volumétrica da água pela sua passagem para o estado sólido. Destacam também a importância da estimativa da distribuição e a geometria das fraturas, bem como da própria tenacidade da rocha, para maior precisão na avaliação da ciclagem necessária.

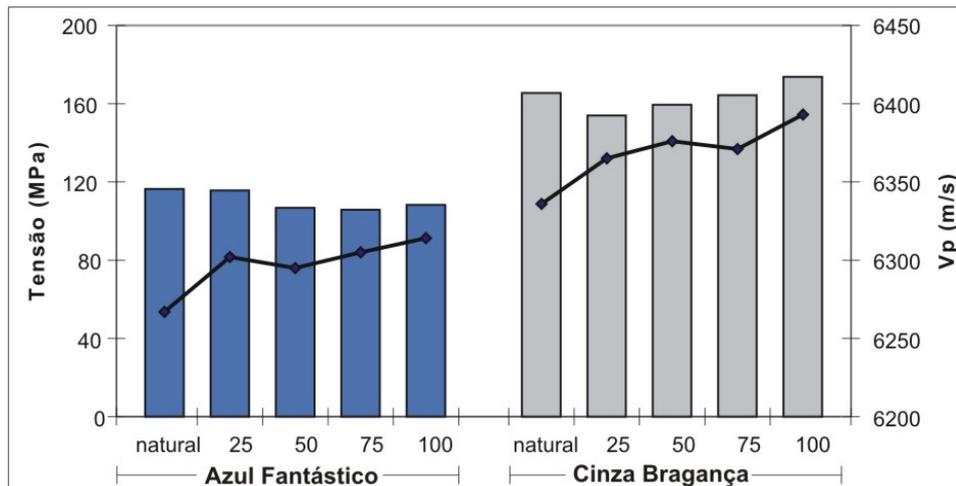


Figura 5: Correlação entre os valores da resistência à compressão uniaxial (tensão de ruptura) e da velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais (V_p) ao estado natural e após a ação dos ciclos de gelo e degelo para os dois granitos estudados.

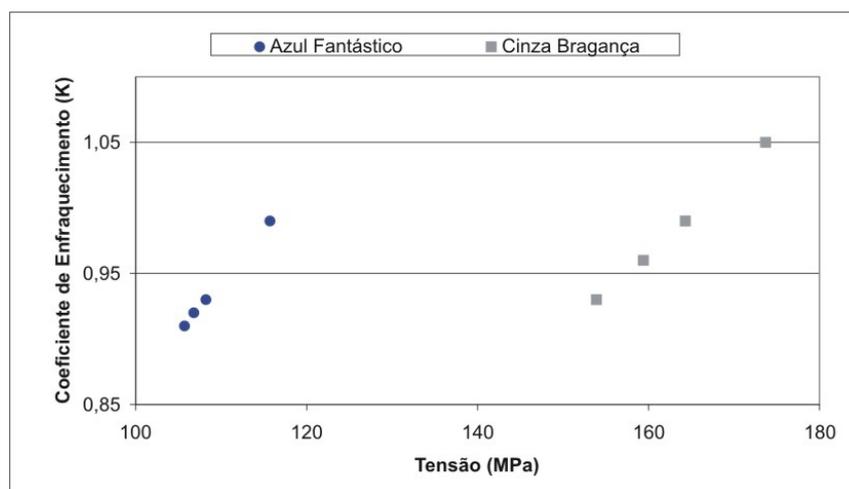


Figura 6: Relação entre o coeficiente de enfraquecimento e a tensão de compressão uniaxial para os dois granitos estudados.

Conforme comentado na introdução do presente trabalho, Barroso & Barroso (2003) concluíram após a análise de um considerável número de dados disponíveis na literatura, bem como de novos dados por eles obtidos, que os 25 ciclos de gelo e degelo preconizados pela norma NBR 12769 da ABNT (1992a) são insuficientes para produzir efeitos deletérios sensíveis sobre rochas quartzo-feldspáticas de baixa porosidade. Consideram que a definição do número de ciclos de congelamento e degelo necessários para produzir algum efeito de degradação nestes tipos de rochas estaria, em síntese, na dependência do

conhecimento do efeito do congelamento sobre a propagação de fraturas na rocha em função da pressão ocasionada pela expansão volumétrica da água pela sua passagem para o estado sólido. Destacam também a importância da estimativa da distribuição e a geometria das fraturas, bem como da própria tenacidade da rocha, para maior precisão na avaliação da ciclagem necessária.

Os resultados dos ensaios dos conjuntos de ciclos de congelamento e degelo conjugados à compressão uniaxial da presente pesquisa (Quadro 2; Figuras 5 e 6) mostram que mesmo após os 100 ciclos de gelo/degelo os granitos praticamente não foram afetados. Destaca-se que apesar do granito Cinza Bragança apresentar discretos efeitos de enfraquecimento durante os três primeiros conjuntos de ciclos de gelo/degelo, oferece após os 100 ciclos uma resistência 5,0% superior em relação a sua resistência ao natural.

A resistência à compressão uniaxial oferecida pelo granito Cinza Bragança, no estado natural, é cerca de 50% superior à apresentada pelo granito Azul Fantástico (Quadro 2), refletindo claramente a influência de suas feições texturais e estruturais, bem como seus teores mais elevados de biotita (Quadro 1). Este melhor desempenho mecânico exibido pelo granito Cinza Bragança também se reflete no seu baixo coeficiente de variação da tensão, entre 4,0% e 9,0%, enquanto o Azul Fantástico apresenta entre 3,8% e 15,1%, e no seu coeficiente de enfraquecimento (K), que variou de menos 7,0% (K=0,93) a mais 5,0% (K=1,05), sendo que o granito Azul Fantástico apresentou decréscimos no intervalo de 1,0% (K=0,99) a 9,0% (K=0,91).

Assim, a comparação entre os intervalos dos coeficientes de enfraquecimento K e dos coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos corpos-de-prova apresentados pelos respectivos granitos (Quadro 2), mostram que estes últimos exibem valores percentuais superiores aos fornecidos pelos coeficientes de enfraquecimento. Este fato sugere que a variação percentual da resistência mecânica dos granitos submetidos aos conjuntos de ciclos de congelamento e degelo, esteja mais diretamente relacionada à heterogeneidade petrográfica destes materiais quartzofeldspáticos do que propriamente ao efeito das ciclagens de gelo e degelo.

Neste sentido o granito Cinza Bragança detentor de um padrão textural e estrutural no geral bastante homogêneo e com granulação média, estrutura isotrópica,

bom engrenamento mineral e baixo grau de microfissuramento, e conseqüentemente baixa porosidade, revela-se como uma rocha altamente resistente frente aos efeitos das ciclagens de gelo/degelo. Os decréscimos dos valores de K ocorridos após os conjuntos iniciais de 25 e 50 ciclos, respectivamente de 7,0% e 4,0%, e embora pouco expressivos, devem corresponder a corpos-de-prova apresentando internamente feições de microgranulação (Figuras 3A e 3B) e/ou dos discretos efeitos de cataclase, conforme caracterizado na descrição petrográfica.

As variações no comportamento mecânico dos corpos-de-prova dos granitos Cinza Bragança utilizados nos ensaios de compressão são em boa parte corroboradas pelos valores das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas. Como observado na Figura 5, em termos gerais a velocidade de propagação das ondas longitudinais aumenta progressivamente com o aumento dos números de ciclos de gelo/degelo, atingindo sua maior velocidade após os 100 ciclos, situação em que o granito também apresenta sua maior resistência mecânica (K = 1,05). Estas correlações diretas indicariam que o granito manteve sua integridade física mesmo após as ciclagens e que o aumento da velocidade das ondas longitudinais, embora discreto, poderia também refletir certo grau de embebecimento dos corpos-de-prova pelo longo tempo de imersão em água.

Por outro lado, os maiores efeitos de degradação apresentados pelo granito Azul Fantástico reflete a maior heterogeneidade petrográfica deste granito, dada pela sua textura megaporfírica com matriz média/grossa, grosseiramente gnáissificada a protomilonítica, e maior grau de microfissuramento mineral. Destaca-se, que embora apresente mais microfissuras a distribuição geométrica das mesmas (isorientadas subparalelamente à foliação gnáissica) limita a capacidade de absorção d'água da rocha. O comportamento mecânico dos corpos-de-prova submetidos aos ciclos de gelo/degelo mostram parcial correspondência em termos da velocidade das ondas ultra-sônicas longitudinais (Figura 2). Entretanto, observa-se no presente caso uma discreta correlação inversa entre o

progressivo grau de enfraquecimento do granito e correspondente aumento da velocidade das ondas longitudinais com o crescente aumento das ciclagens, o que viria a confirmar a influência da maior “umidade” dos corpos-de-prova com o decorrer das ciclagens.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados fornecidos pelos ensaios de compressão uniaxial revela que os 100 ciclos de congelamento e degelo aplicados foram insuficientes para produzir efeitos deletérios sensíveis sobre os granitos estudados. O granito Azul Fantástico é pouco afetado e o granito Cinza Bragança mantém sua integridade mecânica após a ação das ciclagens de gelo e degelo.

As variações percentuais dos coeficientes de enfraquecimento K apresentadas pelos granitos, (K de 0,91 e 0,99% para o granito Azul Fantástico e de 0,93 a 1,05 para o granito Cinza Bragança), são da mesma ordem de grandeza, ou mesmo inferiores, aos dos coeficientes de variação da dispersão dos valores das tensões de ruptura dos ensaios experimentais, sugerindo que a variabilidade do comportamento mecânico nos granitos estudados deveu-se mais à heterogeneidade petrográfica destes materiais do que propriamente à ação dos ciclos de gelo e degelo.

O comportamento mecânico apresentado pelos dois granitos analisados é corroborado pelos resultados dos índices físicos e de propagação de ondas ultra-sônicas. Os valores de porosidade e de absorção d'água de ambos os granitos não sofreram variações significativas durante todas as fases dos ensaios, indicando que os conjuntos de ciclagens de gelo e degelo não conduziram a uma expansão perceptível das microfissuras dos referidos granitos. Já, a propagação das ondas ultra-sônicas, ao contrário do esperado, apresentou um aumento progressivo de suas velocidades durante a sucessão dos conjuntos dos ciclos de gelo e degelo, reforçando a manutenção da integridade física e mecânica dos granitos

após as ciclagens. O aumento da velocidade das ondas estaria relacionada ao certo “encharcamento” dos corpos-de-prova em virtude do maior tempo de permanência dos mesmos sob condições de saturação em água.

Em síntese, os resultados revelam que mesmo sob condições de alta solicitação os granitos foram pouco ou nada afetados, e mostram a necessidade de uma revisão criteriosa da norma NBR 12769, que deve ser orientada por estudos laboratoriais com diferentes tipos de rochas e maior quantidade de ciclos gelo/degelo, para definir a metodologia mais adequada para determinação do possível decaimento da resistência mecânica (coeficientes de enfraquecimento), especialmente para rochas quartzo-feldspáticas de baixa porosidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores A. C. Artur agradecem ao CNPq, através do Processo 300319/81-9, e H. P. Vigário ao sistema PIBIC/CNPq/UNESP, pela concessão da bolsa de Iniciação, e que permitiram o desenvolvimento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS 2003. Catálogo de rochas ornamentais do Brasil. www.abirochas.com.br.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992a. Rochas para revestimento - Ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão. 2 p. (norma ABNT-NBR 12769).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992b. Rochas para Revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2 p. (norma ABNT-NBR 12766).

- ARTUR, A.C. 2003. Complexo Granitóide Plurisserial Socorro: Geologia, Petrologia e Recursos Minerais. Tese de Livre-Docência apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista-UNESP; 139 p.
- ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; WERNICK, E. 1991. Magmatismo e Tectônica do Complexo Socorro (SP/MG). Atas 2º Simpósio de Geologia do Sudeste (SBG - Núcleo de São Paulo e Rio de Janeiro): 105-112 - São Paulo.
- ARTUR, A.C.; MEYER, A.P.; WERNICK, E. 2001. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002. Salvador-BA. Ed. CETEM/MCT - Rio de Janeiro, p. 13-19.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1993. Associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais, SE Brasil). Rev. Bras. Geoc., **23**(3):265-273.
- ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C.; MELLO, I.S. de C.; GALEMBECK, T.M.B.; GODOY, A.M. 2004. Oportunidades Minerárias. In: MELLO, I.S. de C. (Coordenador), A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. Páginas & Letras Editora Gráfica Ltda. p. 91-114. (Publicação IPT 2995).
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTIG AND MATERIALS 1990. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. 5p. (Standard D 2845).
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTIG AND MATERIALS 1992. Standard especification for granite dimension stone. 2p. (Standard C – 615).
- BARROSO, E.V. & BARROSO, J.A. 2003. O efeito dos ciclos de gelo e degelo na resistência de rochas ornamentais silicáticas de baixa porosidade. Anais IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2003. Fortaleza-CE. Ed. CETEM/SBG – Rio de Janeiro, p. 138-145.
- FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: 1º Congresso Internacional da Pedra Natura. Lisboa, Portugal. 47-58p.
- MELLO, I.S.C. 2000. Panorama setorial das rochas ornamentais do Estado de São Paulo. Revista Rochas de Qualidade. Ano XXIX, edição 154 (setembro/outubro). p.140-153.
- MONTANI, C. 2004. Stone 2004 - Repertorio economico mondiale. Grupo Editoriale Faenza Editrice s.p.a. 249p.
- NAVARRO, F.C. 1998. Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. Actas II Congr. Uruguaio de Geologia. Punta Del Leste, p. 103-107. Uruguai.
- NAVARRO, F.C., & ARTUR, A.C. 2002. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. Anais III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002. Recife-PE. Ed. CETEM/UFPE – Rio de Janeiro, p:2-9.
- RODRIGUES, E. de P.; CHIODI FILHO; COUTINHO, J.J.M. 1997. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Rochas & Equipamentos. Lisboa-Portugal. V: 47, 2p.
- RODRIGUES, E. DE P.; COUTINHO, J.M.V. e CHIODI FILHO, C. 1996. Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. nº 127:80-84.

AVALIAÇÃO DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO SUDESTE ATRAVÉS DE SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Regina Coeli Casseres Carrisso¹, Francisco W. Hollanda Vidal¹ e Magno R. S. Carvalho¹

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa - CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – Avenida Ipê, 900 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – CEP 21941.590 - Rio de Janeiro – RJ
Tel. (21). 3865.7307 - e-mail: rcarrisso@cetem.gov.br

RESUMO

A importância da caracterização tecnológica das rochas ornamentais começa desde a pesquisa mineral, passando pela lavra e beneficiamento até suas aplicações, onde não só estão interessados os pesquisadores e produtores de rochas ornamentais, mas também os engenheiros projetistas, arquitetos, decoradores, demais especificadores de materiais e construtores que na maioria das vezes não conhecem as características tecnológicas das rochas ornamentais com as quais estão trabalhando e conseqüentemente seu desempenho e durabilidade ao longo do tempo.

Muitos insucessos tem ocorrido com as rochas ornamentais devido a falta de conhecimento das características naturais que o material possui e também aquelas induzidas pelos métodos de lavras e processos de beneficiamento e que podem provocar alterações. Inúmeros investimentos em edificações, têm sido prejudicados quanto a utilização de rochas ornamentais.

Devido à importância das propriedades tecnológicas na escolha e uso correto das rochas ornamentais é apresentado neste trabalho um estudo de caracterização tecnológica de maior interesse para sua aplicação: densidade, porosidade, absorção d'água, resistência à compressão e flexão, desgaste e impacto.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiadas através de esquadrejamento, polimento, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas como esculturas, tampos de mesa, balcões e arte funerária em geral. Quanto às edificações, destacam-se os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas soleiras, dentre outros.

A caracterização tecnológica das rochas é obtida através de análises e ensaios executados segundo procedimentos rigorosos, normatizados por entidades nacionais e internacionais.

Os principais ensaios realizados pelos diversos países participantes da produção e comercialização de rochas ornamentais e de revestimento são: análise petrográfica, índices físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água), desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão (módulo de ruptura), coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, congelamento/ degelo e alterabilidade. Os procedimentos adotados, para realizar esses ensaios, são padronizados por órgãos normatizadores, constando como itens obrigatórios para balizar os campos de aplicação desses materiais.

O presente trabalho restringe-se às rochas ornamentais silicáticas da região Sudeste do Brasil, de onde foram estudados cerca de 98 (noventa e oito) diferentes tipos de granitos. Os resultados dos ensaios desses granitos foram tratados, divididos em classes e comparados com os valores estabelecidos pela norma ASTM C-615 e com aqueles propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995)

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica das rochas para fins ornamentais pode ser determinada através da execução de ensaios, onde são conhecidas suas peculiaridades. Para que se possa classificar um determinado tipo de rocha como ornamental, deve-se considerar os índices físicos, a resistência físico-mecânica e o grau de polimento, além da forma e dimensão dos blocos que podem ser extraídos, e, principalmente, a viabilidade de aproveitamento na lavra. Dessa forma, todo material empregado no setor da construção, como rocha ornamental e de revestimento, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que, quando executados, orientam o uso principal da rocha. As propriedades mecânicas são imprescindíveis para o emprego da rocha

em geral, incluindo as que influenciam na lavra e beneficiamento e na utilização do produto acabado. Assim, a necessidade de se dispor de uma caracterização tecnológica rigorosa das rochas ornamentais é condição indispensável, pois embora tenha surgido no passado, na Itália, desponta hoje como fator preponderante para atender as exigências técnicas ligadas às grandes obras realizadas nos principais mercados de produtos acabados (Estados Unidos, Alemanha, Japão, etc.).

A fim de minimizar os problemas resultantes do pouco conhecimento do comportamento das rochas utilizadas para fins ornamentais, ensaios de caracterização tecnológica vêm sendo executados pelos diversos países envolvidos na produção e comercialização desses materiais lapídeos, através de procedimentos padronizados por órgãos normatizadores, entre os quais se destacam: American Society for Testing and Material – ASTM, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Deutsches Institut für Normung – DIN, Association Française du Normalisation – AFNOR e Enti Nazionali in Unificazione Normazione di Italia – UNI, e Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR. No caso das normas para as rochas ornamentais e de revestimento, no Brasil adotam-se as da ABNT e ASTM conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Normas Técnicas para Caracterização de Rochas Ornamentais

Ensaio	NORMA ABNT	NORMA ASTM
Análise Petrográfica	ABNT NBR 12768	ASTM C-295
Índices Físicos	ABNT NBR 12766	ASTM C-97
Resistência à Flexão	ABNT NBR 12763	ASTM C-99 / C-880
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	ABNT NBR 12764	ASTM C-170
Resistência à Compressão	ABNT NBR 12767	ASTM D-2938 / C-170
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	ABNT NBR 12765	ASTM E-228
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	ABNT NBR 12769	nd
Desgaste Amsler	ABNT NBR 6481	ASTM C-241
Módulo de Deformabilidade Estática	nd	ASTM C-3148
Micro Dureza Knoop	nd	nd

Fonte: American Society for Testing and Materials - ASTM.

A Comunidade Econômica Européia sentiu a necessidade da unificação de normas para as rochas ornamentais com o objetivo de facilitar a comercialização de tais produtos. Neste sentido foi criado o Comitê Europeu de Normalização – CEN, que preparou e submeteu à apreciação do Conselho Técnico um programa normativo no domínio da construção e obras públicas, que irá brevemente ser divulgado. Tão logo esse documento seja aprovado, os resultados serão apreciados pelo Comitê Internacional, que, através de uma avaliação comparativa com novas normas adotadas em outros países, deverá chegar a um consenso geral, e, posteriormente, elaborar um documento final de aceitação internacional. Os resultados de ensaios regidos por essas normas visam fornecer elementos que permitam atender a especificações menos empíricas, e,

consequentemente, mais eficazes, seguras e econômicas, evitando insatisfações e/ou reclamações dos consumidores, gerando uma imagem negativa das empresas de projetos arquitetônicos e fornecedora desses materiais.

Os principais ensaios adotados no Brasil para a qualificação das rochas ornamentais direcionados ao mercado interno ou externo são: petrografia, índices físicos (massa específica, porosidade, e absorção d'água), dilatação térmica linear, desgaste abrasivo, impacto de corpo duro, resistência à flexão (módulo de ruptura), resistência à compressão uniaxial, congelamento e degelo conjugado à compressão. A Tabela 2 apresenta os valores limites estabelecidos pela Norma ASTM C-615 e aqueles propostos por FRAZÃO & FARJALLAT.

TABELA 2 – Valores Especificados pela Norma ASTM e Sugeridos no Brasil

PROPRIEDADES	VALORES FIXADOS PELA ASTM C -615	VALORES SUGERIDOS POR FRAZÃO & FARJALLAT
Massa específica Aparente (Kg/m ³)	≥ 2.560,00	≥2.550
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤1,0
Absorção D'água (%)	≤0,4	≤0,4
Velocidade de Propagação de Ondas (m/s)	n.e.	≥4.000
Dilatação Térmica Linear (10 ³ /mm.°C)	n.e.	≤12,0
Desgaste Amsler (mm)	n.e.	≤1,0
Compressão Uniaxial (MPa)	≥131,0	≥100,0
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	≥10,34	≥10,0
Módulo de Deformabilidade Estático (GPa)	n.e.	≥30,0
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥0,4

Fonte: American Society for Testing and Materials - ASTM. Frazão & Farjallat (1995)

Nota: n.e. = não especificado

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura I, mostra a distribuição dos resultados de massa específica aparente seca obtidos com as rochas silicáticas da região Sudeste.

Conforme pode ser observado, as rochas estudadas apresentaram resultados de massa específica aparente variando no intervalo de 2600 a 2950 Kg/m³, com uma frequência de concentração maior entre 2600 e

2700 Kg/m³. Observa-se que cerca de 55% das amostras estudadas estão situadas na classe de 2650 Kg/m³. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos para utilização em revestimentos exteriores devem apresentar densidade de massa específica aparente seca superior a 2560 Kg/m³. Verifica-se, então, que a grande maioria das rochas silicáticas avaliadas atendem perfeitamente à especificação estabelecida na Norma ASTM C-615.

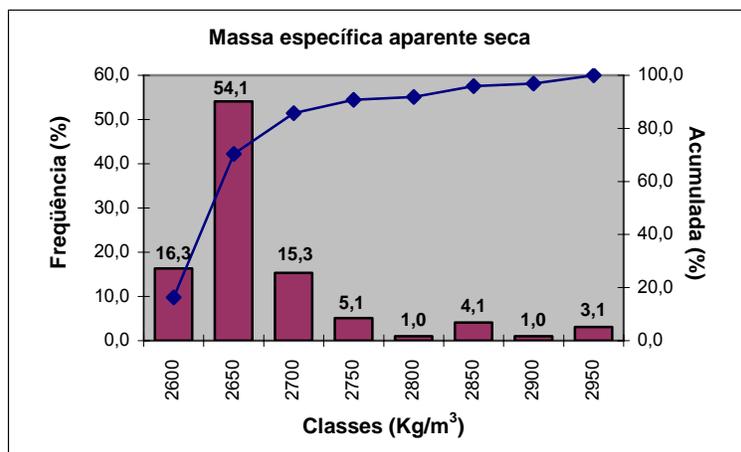


FIGURA I – Distribuição dos resultados de massa específica aparente seca.

No que diz respeito à porosidade aparente, a Norma ASTM C-615 não especifica limites, no entanto, FRAZÃO & FARJALLAT sugerem o valor máximo de 1%

para essa propriedade. Na Figura II, verifica-se que cerca de 90% dos materiais analisados encontram-se abaixo desse limite.

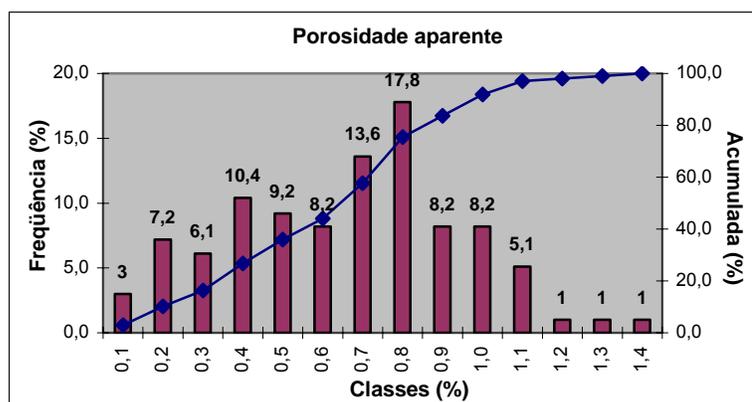


FIGURA II – Distribuição dos resultados de porosidade aparente.

A Figura III, mostra a distribuição dos resultados obtidos para absorção d'água. Os valores obtidos variaram no intervalo de 0,01 a 0,80%, com 87% das amostras estudadas situadas entre 0,10 e 0,40%. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos, para serem utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, devem apresentar valor de

absorção d'água abaixo de 0,4%, sendo o mesmo sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT. Com base nesse valor, constata-se que a grande maioria das rochas ensaiadas (89,6%) apresenta resultados abaixo do estabelecido, indicando que esses materiais apresentam boa durabilidade e considerável resistência mecânica ao longo do tempo.

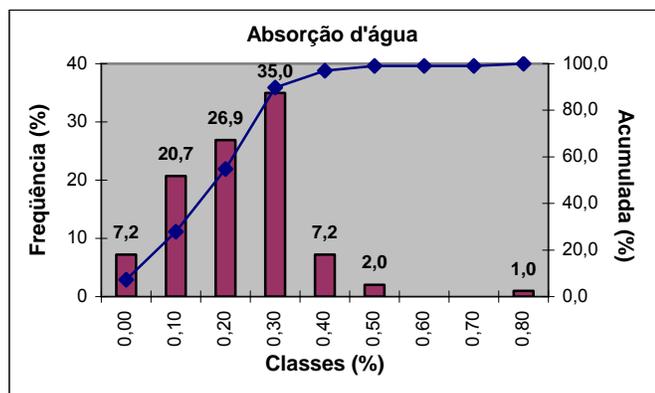


FIGURA III – Distribuição dos resultados de absorção d'água.

Os resultados apresentados na Figura IV mostram que os valores de resistência à compressão uniaxial estão mais concentrados no intervalo de 100 a 180 MPa, correspondendo a 85% das rochas analisadas.

Segundo FRAZÃO & FARJALLAT, o valor mínimo aceitável para essa propriedade é 100 MPa, enquanto que para a ASTM C-615 é de 131 MPa.

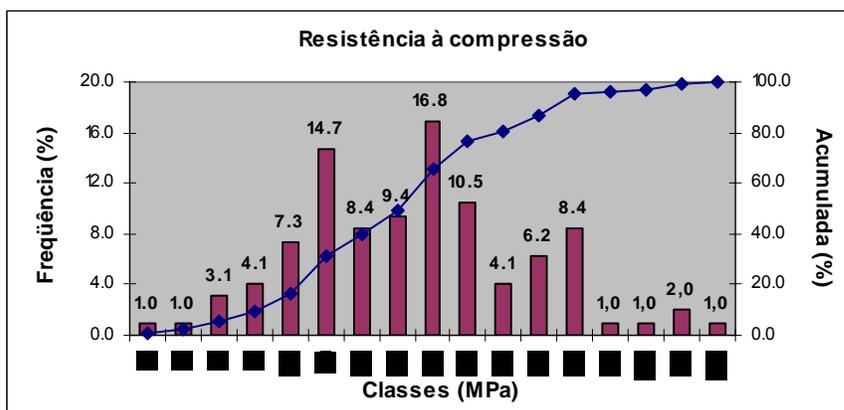


FIGURA IV -Distribuição dos resultados de resistência à compressão uniaxial.

Neste caso, verifica-se que os valores aqui obtidos se adequam melhor ao limite estabelecido pelos referidos autores, mas, ainda assim, uma parcela considerável dos granitos analisados, cerca de 60%, atende o limite estabelecido pela Norma ASTM C-615. É importante ressaltar que essa característica físico-mecânica representa um valioso índice de qualidade dos materiais para uso como rochas ornamentais e de revestimento, estando diretamente relacionada com outras propriedades tecnológicas que dependem da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas.

A Figura V, apresenta a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à flexão, onde pode-se observar que a maioria dos valores obtidos situa-se entre 5 e 20 MPa, sendo que cerca de 60% das amostras estão acima do valor mínimo estabelecido, 10,0 MPa, tanto pela norma ASTM C-615 quanto por FRAZÃO & FARJALLAT. Essa característica, assim como a compressão, também depende da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas.

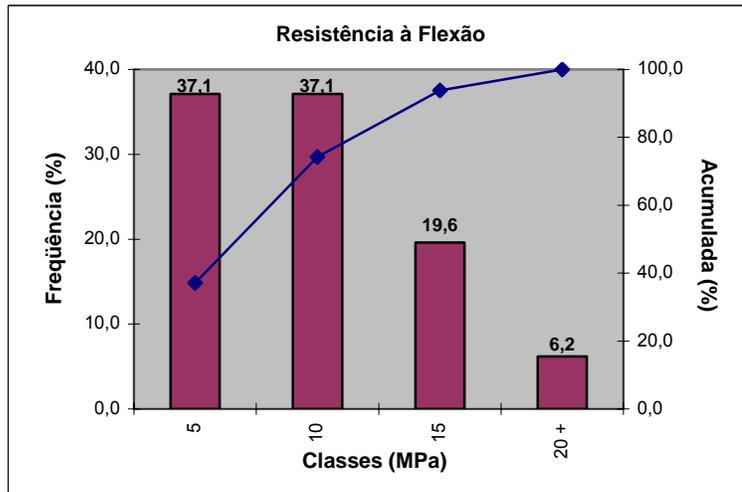


FIGURA V -Distribuição dos resultados de resistência à flexão.

A Figura VI, mostra a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao desgaste Amsler. Com base nos resultados apresentados, pode ser observado que cerca de 74% das rochas estudadas apresentam um desgaste que varia entre 0,5 e 1,0 mm. A Norma ASTM C-615 não especifica limites,

mas FRAZÃO & FARJALLAT sugerem o valor máximo de 1,0 mm. Tomando como base esse valor, constata-se que a grande maioria das rochas analisadas atende a esse limite, o que viabiliza a sua aplicação em áreas de alto tráfego.

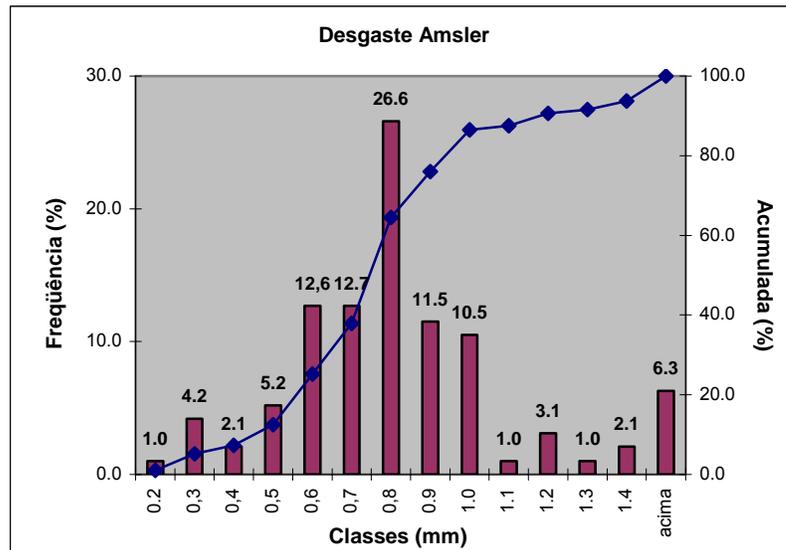


FIGURA VI -Distribuição dos resultados de Desgaste Amsler.

CONCLUSÕES

Com base nos valores fixados pela norma ASTM – C-615 e sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), para os índices físicos, pode constatar, para os granitos analisados, que 100% dos apresentaram valores acima dos valores mínimos estabelecidos, 2560 Kg/m³, para a massa específica aparente seca; 91% atenderam o valor máximo 1% para porosidade; e mais de 80% apresentaram valores abaixo de 0,4% para o índice de absorção d'água.

Com relação à resistência à compressão uniaxial, verificou-se que 85% dos granitos analisados estão dentro do intervalo de 100 e 180 MPa, sendo essa faixa de valores aceitável para a utilização dos mesmos como rocha ornamental e de revestimento, por FRAZÃO & FARJALLAT. Para atender as especificações da norma ASTM – C-615, cujo mínimo estabelecido é de 130 MPa, esse percentual reduz-se a 60%.

Para os ensaios de resistência à flexão, verifica-se que 62% das amostras analisadas encontram-se acima do valor limite de 10 MPa, estabelecido pela norma ASTM C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT, com uma maior concentração no intervalo de 10 a 20 MPa.

Com relação aos valores obtidos para o desgaste Amsler, pode-se constatar que cerca de 86% encontram-se abaixo do máximo proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), conferindo um bom índice de resistência ao desgaste.

A avaliação das principais propriedades físico-mecânicas do grupo de granitos ensaiados confirma a qualidade desses materiais para utilização como rochas ornamentais e de revestimento. Essa avaliação serve para demonstrar, também, a importância da caracterização tecnológica das rochas ornamentais para subsidiar arquitetos, decoradores, construtores e demais especificadores na seleção de materiais para diferentes aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society For Testing And Materials - **ASTM. (C 615)**. Standard specification for granite dimension stone. 1992.
- FRAZÃO, E, B.; Farjallat, J. E. S. **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa. 1995.47-58p.
- FRAZÃO, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. **Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE. v.1, p. 369-380.
- VIDAL, F. W. H.; Pereira, T. A. **Avaliação das atividades de produção das rochas ornamentais e sua aplicação como revestimento através da caracterização**. XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro/SP, 23/26 agosto 1998, p. 173-186.
- VIDAL, F. W. H.; Pereira, T. A. **Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas**. Série Tecnologia Mineral, 74, Rio de Janeiro: CETEM/MCT,1999,30 p.
- VIDAL, F. W. H. **Avaliação de granitos ornamentais do nordeste através de suas características tecnológicas**. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife/PE, 26/29 novembro 2002, p. 67 – 74.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DA BACIA DO ARARIPE E DO APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DA PEDRA CARIRI – CEARÁ

Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Manoel William Montenegro Padilha² e Raimundo Roncy de Oliveira³

¹ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro, Brasil

² Companhia de Desenvolvimento do Ceará - CODECE/SDE, Ceará, Brasil

³ Universidade Regional do Cariri, Ceará, Brasil

RESUMO

A região do Cariri cearense, inserida na Bacia do Araripe, constitui um importante polo mineral no que tange a sua rica reserva de calcário laminado utilizado com pedra de revestimento sob o nome de “Pedra Cariri”, que segundo dados do DNPM possui cerca de 97 milhões de metros cúbicos de reserva medida abrangendo principalmente os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda. A utilização da Pedra Cariri é feita sob a forma de lajes e utilizadas principalmente em pisos e revestimentos de paredes. Esta atividade de exploração vem sendo desenvolvida a mais de 30 anos, gerando uma quantidade considerável de rejeitos (cerca de 70%), com a produção aproximada de 20 mil metros

quadrados/mês, correspondendo a 15% da produção de rochas ornamentais e de revestimentos do Estado do Ceará. Atualmente os rejeitos gerados tem seu emprego restrito a aterros e melhorias das estradas vicinais, tendo seu uso mais nobre na fabricação de cimento, através da Indústria Barbalhense de Cimento Portland – IBACIP.

INTRODUÇÃO

O calcário sedimentar da Chapada do Araripe, situada no sul do Estado do Ceará é formado essencialmente de carbonato de cálcio é utilizado na indústria de rochas ornamentais em formas de lajotas conhecida comercialmente como Pedra Cariri (Figura 1).

No método e processo de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, na região dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, verificar-se, em todas as suas etapas, uma grande quantidade de material desperdiçado, devido a utilização de tecnologias inadequadas às condições das jazidas, além da falta de acompanhamento técnico especializado.

A lavra da Pedra Cariri é desenvolvida atualmente de forma aleatória, resultando num plano de aproveitamento com baixas taxas de recuperação. A lavra é desenvolvida, na sua grande maioria, com métodos rudimentares (Figura 2).

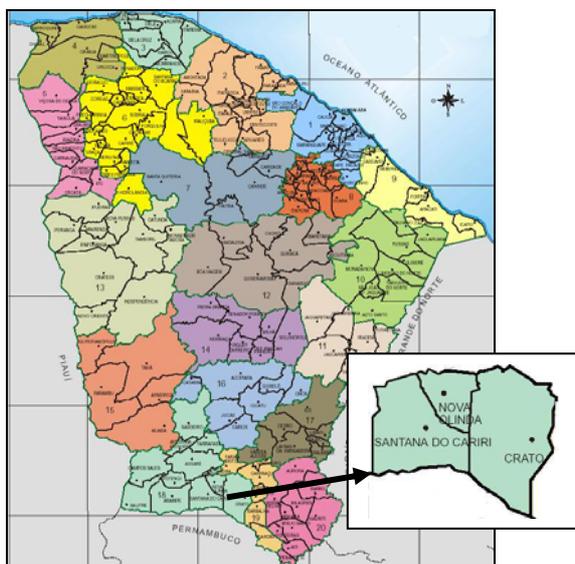


Figura 1-Mapa do Estado do Ceará

Contudo, em algumas pedreiras, essa lavra é conduzida de forma semi-mecanizada, através da utilização de máquinas de corte móveis, acionadas por eletricidade, com disco diamantado (Figura3). O diâmetro do disco varia de 350mm a 500mm, permitindo um corte com profundidade em placas de calcário não ultrapassando a espessura de 18cm. Após esta etapa, as placas são selecionadas manualmente e transportadas para o beneficiamento nas serrarias onde são esquadrejadas em dimensões compatíveis à



Figura 2 – Método de lavra



Figura 3 – Método de lavra semi-mecanizado

Toda a cadeia produtiva, compreendendo as etapas de lavra e beneficiamento, acarreta uma perda total em torno de 70%. Em ambos os casos, não há controle sobre as características geológicas das jazidas, como fraturas, basculamentos, etc., dificultando a lavra e aumentando consideravelmente a produção de rejeitos. Esse fato foi observado através de visitas técnicas realizadas por técnicos do CETEM/CODECE em pedreiras da região, onde foi apresentada a matriz gargalos versus sugestões, ou seja: organização de uma plataforma, através de rede de cooperação com as instituições parceiras

sua aplicação, geralmente medindo 40 X 40 cm, 50 X 50 cm, 30 X 30 cm, 20 X 20cm e 15 X 30 cm, ou em tiras. Essa atividade gera, nas frentes de lavra, uma grande quantidade de rejeitos prejudiciais ao meio-ambiente, tanto por formar entulhos, impossibilitando o acesso ao pátio de movimentação, bem como gerando um impacto visual desagradável.

Estima-se que a perda na lavra, com a operação manual, atinge a 90% e, com a utilização da máquina com disco diamantado, reduz-se consideravelmente, (Vidal e Padilha, 2003).

locais, estaduais e federais, para dar suporte de apoio técnico, visando a elaboração de um plano de ação, específico para o calcário cari, através das redes dos chamados **Arranjos Produtivos Locais – APL's**.

A atividade alvo deste trabalho resultou da solução do problema relacionado aos conhecimentos insuficientes das possibilidades de uso industrial dos rejeitos estocados.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

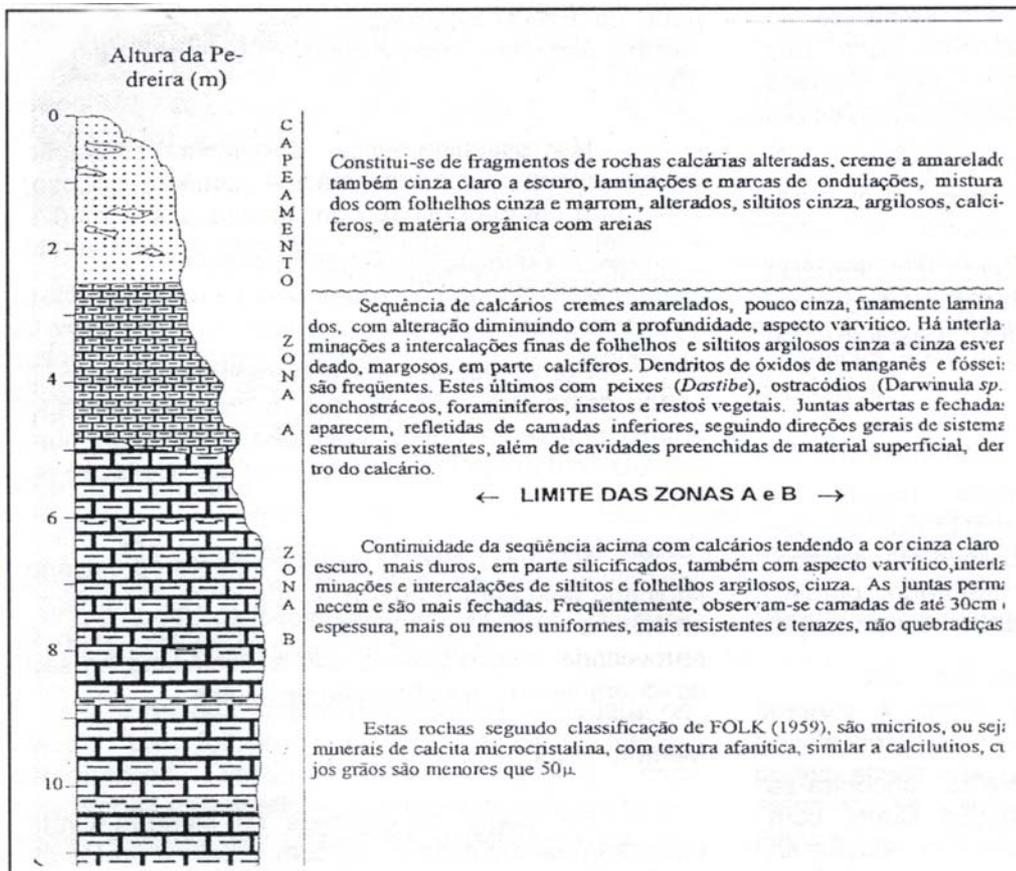
No contexto geral a *Bacia do Araripe* tem extensão regional englobando os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, com uma área total de 9.000 km², disposta no sentido Leste-Oeste por cerca de 180Km e Norte-Sul por cerca de 70 Km, no seu trecho mais largo.

A *Formação Santana* constitui-se numa das mais importantes representações do Cretáceo cearense. Esta formação de origem marinha/lacustre apresenta uma seqüência sedimentar estratificada, quase horizontal, com siltitos argilosos, margas com concreções calcárias e bancos calcários, gipsita, calcários laminados, siltitos e folhelhos betuminosos com cerca de 250m de espessura depositada em extensa área, formada no Mesozóico, mais precisamente no período Cretáceo, iniciado há cerca de 120 milhões de anos. São 3 (três) as fases de desenvolvimento da Formação Santana a saber:

A primeira apresenta camadas calcárias argilosas e sílticas, finamente estratificadas e laminadas, que representam um depósito lacustre de água doce;

A segunda é constituída por camadas de gipsita e de calcários fossilíferos sob condições salinares, devido a ingressão marinha, procedente do Oeste e a forte evaporação, reinando então um clima árido;

A terceira é composta de camadas argilosas e sílticas, depositadas sob condições de clima úmido, com dulcificação rápida da Bacia até a fase lacustre final. Os calcários laminados Pedra Cariri, alvo deste trabalho, afloram de modo tabular ao longo de rios e riachos, onde processos erosivos revelam com maior intensidade esses calcários, exibindo uma coloração predominante creme claro, amarelo intenso, por vezes cinza claro; sua laminação é bastante acentuada, exibindo, raramente, estratificação planoparalela horizontalizada. Essa seção tipo pode ser visualizada no Perfil Geológico Esquemático, (Figura 04).



LAVRA

A lavra é conduzida de modo seletivo, a céu aberto, tendo as frentes, normalmente, uma forma de salão, com dimensões de 20 a 30 m de largura por 30 a 40 m de comprimento, podendo, com a retirada do material, se desenvolver para os lados e para baixo. A primeira etapa da lavra consiste na limpeza da cobertura do solo para a retirada da vegetação, camadas argilosas e do calcário intemperizado. Esse volume de material depende de cada afloramento, em alguns casos o capeamento é da ordem centimétrica, atingindo-se logo a rocha sã; em outras atinge cerca de 10 a 15 metros.

O avanço da frente de lavra ocorre de fora para dentro e para baixo, ou seja, qualquer que seja a tecnologia empregada para a retirada das placas, o material não aproveitável (material friável, sobras e placas arqueadas), é retirado manualmente ou através de carro de mão e empilhado próximo da frente de lavra, provocando um estrangulamento da mesma. Com a

RESERVAS

Segundo dados oficiais do DNPM/2004, as reservas do calcário laminado nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri são cerca de 114,5 milhões de metros cúbicos, o que equivale a 275 milhões de toneladas.

METODOLOGIA

Os estudos foram realizados nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri em duas etapas:

- Levantamento de campo nas principais frentes de lavra que geram uma maior quantidade de rejeitos, caracterização destas frentes, análises dos métodos de extração. Nestas foram ainda observadas as questões relacionadas ao minerador, produção da pedreira, beneficiamento, especificações técnicas da cava e produtos gerados;
- Na segunda etapa obteve-se a base topográfica, tendo como referência a

continuidade do avanço, o volume de rejeito aumenta, formando pilhas de material que chega algumas vezes a ultrapassar o nível de bancada da lavra.

Os rejeitos gerados têm seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais no período chuvosos e como uso mais nobre na fabricação de cimento, através da IBACIP, Indústria Barbalhense de Cimento Portland, pertencente ao grupo João Santos. No ano de 1998, esta indústria firmou uma parceria com a Associação dos Produtores de Lajes e Rochas Ornamentais de Nova Olinda, onde os rejeitos são retirados mecanicamente, utilizando-se escavadeiras e caminhões, sendo transportados para a indústria de cimento localizada na cidade de Barbalha, que dista 70,0 km do local de extração, sem nenhuma remuneração para mineradores da Pedra Cariri (Figura5). Atualmente, estima-se que a IBACIP consome cerca de 7.000 toneladas/mês de rejeito.



Figura 5 – Carregamento de rejeito para IBACIP

folha planialtimétrica de Santana do Cariri, Índice de nomenclatura: SB. 24 – Y– D – II, elaborada pela SUDENE, ano de 1972, da escala 1:100.000, para a escala 1:5000 através do software CAD 2000, onde os locais dos rejeitos foram plotados.

Para obtenção do volume dessas frentes de lavra utilizou-se a seguinte metodologia em cada pedreira selecionada. Foram marcados, através de GPS, pontos

que delimitavam os rejeitos, sendo a altura obtida por altímetro digital. Utilizaram-se dois altímetros, ficando um imóvel, junto à base dos rejeitos, em um ponto de cota arbitrada, enquanto que com o outro foram coletadas as cotas dos pontos de interesse, no caso os pontos intermediários e outros no topo,

tendo-se então as diferenças de cotas que determinaram, juntamente com as coordenadas obtidas, o formato do material a ser calculado; com este procedimento obteve-se maior precisão no cálculo dos volumes (Figura 6).



Figura 6 – Metodologia de cubagem dos rejeitos

De posse desses dados, após plotados no mapa base, formou-se figuras geométricas sendo suas áreas calculadas através do CAD, obtendo-se assim os volumes com uma pequena margem de erro a (<1 metro). Esses procedimentos foram realizados nas principais frentes de lavra localizadas nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri. Concomitantes a este procedimento foram coletadas amostras de rejeito das pedreiras para posterior análise química em laboratórios do CETEM.

RESULTADOS OBTIDOS

Para cada município, somou-se a quantidade dos rejeitos calculados, segundo a metodologia descrita, estando os resultados apresentados a seguir.

MUNICÍPIO	VOLUME (m³)
	755.000,00
<i>Nova Olinda</i>	275.000,00
Santana do Cariri	
<i>TOTAL</i>	1.030.000,00

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CALCÁRIO

LOCAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CALCÁRIO DA PEDRA CARIRI (%)							
	CaO	MgO	SiO2	P.F+	Al2O3	Fe2O3	K2O	P2O5
Nova Olinda	53,60	0,75	1,10	42,80	0,29	0,40	0,05	0,04
Santana do Cariri	54,00	0,88	0,44	43,30	0,09	0,48	0,02	0,08

CONCLUSÕES

Como resultado dos trabalhos executados, conclui-se pela viabilidade técnico-econômica dos rejeitos das pedreiras de calcário, que totalizaram 1.030.000,00m³, com teores médios de 53,8% CaO e 0,8% MgO em outros usos/aplicações.

A atividade de produção da Pedra Cariri se constitui na economia básica dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, visto que a agropecuária tem apenas um caráter de subsistência. Portanto a extração desse bem mineral vem garantindo a permanência do homem do campo e destas cidades. Com ao aproveitamento dos rejeitos gerados, a renda dos mineradores teria um substancial incremento.

Um projeto para o aproveitamento dos rejeitos seria auto-sustentável, pois além de gerar emprego e renda para os municípios, traria ainda dentre outros, os seguintes benefícios: custo zero de lavra, aproveitando o material já extraído e estocado, saneamento ambiental, minimização dos índices de acidente e limpeza das frentes de lavra.

Atualmente os rejeitos gerados têm seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais no período chuvosos. O seu uso mais nobre é na composição de cimento, através da IBACIP, Indústria Barbalhense de Cimento Portland, pertencente ao grupo João Santos. Estima-se que a IBACIP consome cerca de 7.000 toneladas/mês de rejeito, sem nenhuma remuneração para mineradores da Pedra Cariri.

Considerando que as reservas dos rejeitos estocados totalizam um volume da ordem de 1 milhão de m³, equivalente a 2,4 milhões de toneladas, e sendo o consumo mensal da IBACIP DE 7.000 toneladas/mês, a vida útil desses rejeitos hoje chegaria a 30 anos, aproximadamente.

Conclui-se que um estudo de mercado desses rejeitos com vista ao uso/aplicação em outras indústrias tais como: construção civil, insumos agrícolas, ração animal, indústria siderúrgica química e

alimentícia entre outros, seria pertinente e necessário para a busca de novos mercados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

OLIVEIRA, A. A **Calcários Laminados do Cariri; Estudo para redução de perdas na lavra e aproveitamento do rejeito mineral**. Fortaleza: UFC. Centro de Ciências, Departamento de Geologia. Curso de Mestrado em Geologia, 1998, 160p.il. (Dissertação de Mestrado).

VIDAL, F. W.H; PADILHA, M. W. M. **A indústria extrativa da pedra cariri no estado do Ceará**. Fortaleza, **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. 199-210p, Ceará, 2003.

VIDAL, F.W.H; PADILHA,M.W.M; OLIVEIRA,R.R. **Estudo de Exploração Preliminar dos Rejeitos da Pedra Cariri**. Anais em CD do I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Guarapari,2005.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA JAZIDA DE SERPENTINITO COMO ROCHA ORNAMENTAL

Jussara Ismênia da Costa

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral
Departamento de Engenharia de Minas
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa

Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral
Departamento de Engenharia de Minas
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
trigueiro@demin.em.ufop.br

Prof. Dr. Adilson Curi

Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral
Departamento de Engenharia de Minas
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
curi@demin.ufop.br

RESUMO

Desde os primórdios da civilização o homem vem fazendo uso dos recursos minerais, entre estes, destacou-se como de fundamental importância para o estabelecimento dessas civilizações, a utilização de pedra natural e, em particular, das rochas ornamentais, presentes nas diversas edificações que tão bem expressam a organização, tecnologia e cultura da humanidade.

A revolução das civilizações intensificou o uso deste recurso natural, tendo sido o homem desafiado a encontrar e aperfeiçoar tecnologias adequadas para atender à crescente demanda. Em nossos dias, questões como globalização, desenvolvimento sustentável e concorrência acirrada, faz do aperfeiçoamento tecnológico uma necessidade para a sobrevivência das empresas mineradoras. É neste contexto que se justifica, cada vez mais, a caracterização das rochas ornamentais, de modo a obtermos, por meio de procedimentos padronizados, os subsídios necessários para a correta avaliação deste bem mineral nos termos requeridos, da produção à aplicação.

Tais subsídios auxiliam os produtores e os usuários no conhecimento cada vez mais amplo dos diversos produtos do setor de rochas ornamentais.

INTRODUÇÃO

A caracterização tecnológica de rochas ornamentais retrata as propriedades físico-mecânicas das rochas. A sua análise para rochas ornamentais é de grande importância, juntamente com a caracterização mineralógica, para a escolha da melhor aplicabilidade e elaboração de projetos, principalmente no que se refere ao revestimento de pisos e fachadas, procurando desta forma obter maior durabilidade para o revestimento e manter a sua beleza estética.

Este trabalho constitui uma parte de um estudo de caracterização tecnológica e mineralógica de uma jazida de serpentinito situada no município de Santa Bárbara, no Estado de Minas Gerais, que teve como finalidade principal determinar a melhor aplicação do mesmo como rocha ornamental.

A seguir serão descritos os ensaios realizados para a caracterização tecnológica relacionados a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente; resistência à compressão puntiforme; resistência à compressão uniaxial em amostras cúbicas; resistência à flexão; resistência ao desgaste; resistência ao impacto de corpo duro; módulo de deformabilidade estático e velocidade de propagação de ondas.

Os ensaios de coeficiente de dilatação térmica linear e gelividade estão descritos a seguir, apesar de não ter sido possível realizá-los pela indisponibilidade de equipamentos e de padrões.

Os valores encontrados para os ensaios destinados à caracterização tecnológica do serpentinito podem ser considerados como parâmetros para estimar a qualidade desta rocha quando utilizada com fins ornamentais e de revestimento.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente

A massa específica aparente reflete o estado de sanidade da rocha, pois rocha alterada possui massa específica menor, quando comparadas com as mesmas rochas no estado são.

A porosidade e a massa específica aparentes são índices físicos inversamente proporcionais, de forma que quanto menor a porosidade maior a massa específica.

O coeficiente de absorção de água está relacionado à porosidade efetiva da rocha, e é de grande importância quando os materiais vão estar expostos a intempéries, em contato com água e com a umidade do solo.

Para a realização deste ensaio foram preparadas 10 amostras, que podem ser regulares ou não, com cerca de 7 cm de

aresta segundo a norma NBR 12.766. Estas amostras são levadas à estufa (24 h a 110°C), e depois de esfriadas à temperatura ambiente, são pesadas para a obtenção do valor da massa **A**.

Em seguida, as amostras são colocadas em um recipiente, com adição de água em intervalos de tempo regulares, até que fiquem submersas, deixando nesta condição por 24 h. Então, são retiradas da água e pesadas, obtendo-se a massa **B**.

A massa **C** é obtida pesando-se as amostras submersas através de uma balança hidrostática.

Finalmente, através dos seguintes cálculos, são obtidos os valores para:

- a) Massa específica aparente seca:

$$p_{a_{sec}} = [A / (B - C)] \times \gamma_a \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

- b) Massa específica aparente saturada:

$$p_{a_{sat}} = B / (B - C) \times \gamma_a \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2)$$

- c) Porosidade aparente:

$$\eta_a = [(B - A) / (B - C)] \times 100 \text{ (%) } \quad (3)$$

- d) Absorção de água aparente:

$$\alpha_a = [(B - A) / A] \times 100 \text{ (%) } \quad (4)$$

onde:

$$\gamma_a = \text{massa específica da água}$$

Os valores obtidos para a massa específica aparente seca variaram de 2.457 a 2.567 kg/m³, apresentando como valor médio 2.525 kg/m³. Segundo Frazão e Paraguassu (1998), o valor sugerido para a massa específica aparente seca deve ser igual ou maior que 2.690 kg/m³. Portanto, o valor encontrado no ensaio se encontra um pouco abaixo do valor sugerido. Este fato se deve às pequenas alterações observadas e à presença de veios que se apresentam de tamanhos variados distribuídos sem orientação preferencial em algumas amostras ensaiadas, o que resultou em um abaixamento deste valor.

Os valores encontrados para a absorção de água aparente nas amostras ensaiadas variaram de 0,5 a 2,3% com o valor médio correspondendo a 1,1%. O valor médio obtido foi superior ao sugerido. Esta absorção de água acima do limite sugerido pode acarretar em possíveis alterações mineralógicas na rocha. No caso específico do serpentinito, é esperado que estas alterações sejam pouco visíveis, quando observados macroscopicamente, uma vez que a rocha é escura e a presença de minerais deletérios (sulfetos) é correspondente a 2%.

Para a porosidade não foram encontradas especificações.

Resistência à compressão puntiforme

Este ensaio é indicado para rochas duras com resistência à compressão superior a 15 MPa, segundo a norma ASTM D 5.731.

Para a realização deste ensaio submete-se a amostra a uma carga crescente e concentrada aplicada por meio de dois punsores coaxiais cônicos até que ocorra a sua ruptura. O valor da carga no qual ocorreu o rompimento é utilizado para calcular o índice de resistência puntiforme e para estimar a resistência à compressão uniaxial.

São utilizadas no mínimo 10 amostras cúbicas ou cilíndricas ou 20 amostras irregulares. Caso a amostra apresente algum acamamento, este ensaio deve ser realizado nas duas direções. As dimensões das amostras devem estar entre 3,0 cm e 8,5 cm. Antes de se começar o ensaio, deve-se ter o valor da altura e da largura para todas as amostras. A amostra, no caso cúbica, é colocada entre os punsores e aplica-se uma carga para obter o equilíbrio do sistema amostra – punsores. Em seguida mede-se a distância entre os punsores através do vernier afixado junto ao compartimento da carga. Inicia-se, então, a aplicação da carga, aumentando-a continuamente até a ruptura da amostra, a qual deve ocorrer no tempo entre 10" e 60". Caso a ruptura ocorra somente em um dos punsores, a amostra deverá ser descartada.

Os cálculos para a obtenção da estimativa da resistência à compressão puntiforme são determinados da seguinte maneira:

Cálculo para a determinação do índice de resistência puntiforme não corrigido:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (5)$$

$$De^2 = \frac{4A}{\pi} ; A = W \times D \quad (6)$$

onde:

I_s = índice de resistência puntiforme não corrigido (MPa)

P = carga de ruptura (kN)

De = diâmetro equivalente (mm)

A = área da amostra (mm²)

W = largura da amostra (mm)

D = distância entre os dois punsores (mm)

Cálculo para a determinação do índice de resistência puntiforme corrigido:

$$I_{s(\text{corrigido})} = I_s \times F \quad (7)$$

onde:

$I_{s(\text{corrigido})}$ = índice de resistência puntiforme corrigido (MPa)

I_s = índice de resistência puntiforme não corrigido (MPa)

F = (De/50)^{0.45}, para as amostras próximas de 5,0 cm

Cálculo do valor médio do $I_{s(\text{corrigido})}$:

O valor médio do índice de resistência puntiforme corrigido é obtido desprezando-se os dois valores inferiores e os dois superiores, fazendo-se a média dos resultados restantes.

Cálculo do índice anisotrópico:

$$I_{\alpha(\text{corrigido})} = \frac{I_{s(\text{corrigido})\text{ perpendicular}}}{I_{s(\text{corrigido})\text{ paralelo}}} \quad (8)$$

onde:

I_{α} (corrigido) = índice de anisotropia

$I_s(\text{corrigido})_{\text{perpendicular}} =$ média do índice de resistência puntiforme corrigido com aplicação de carga perpendicular ao acamamento (MPa)

$I_s(\text{corrigido})_{\text{paralelo}} =$ média do índice de resistência puntiforme corrigido com aplicação de carga paralelo ao acamamento (MPa)

Cálculo da estimativa da resistência à compressão uniaxial:

$$\delta_{\mu C} = C \times I_s(\text{corrigido}) \quad (9)$$

onde:

$\delta_{\mu C}$ = resistência à compressão uniaxial (MPa)

C = fator que depende a correlação entre $\delta_{\mu C}$ e $I_s(\text{corrigido})$, obtido através da eq. 5

$I_s(\text{corrigido})$ = índice de anisotropia (MPa)

Os resultados obtidos para a resistência à compressão puntiforme revelam uma estimativa para os valores da resistência à compressão uniaxial. Os resultados da média do índice de resistência à compressão puntiforme corrigido para a aplicação de força perpendicular e paralela à lineação mineral encontrados são 8,5 MPa e 8,4 MPa, respectivamente, e os resultados da média para a estimativa da resistência à compressão uniaxial para a aplicação de força perpendicular e paralela à lineação mineral encontrados são 195,9 MPa e 193,7 MPa, respectivamente. O valor obtido para o índice anisotrópico é igual a 1,01.

Resistência à compressão uniaxial em amostras cúbicas

Este ensaio é muito importante para rochas que devem suportar cargas elevadas, tanto na sua utilização como durante o transporte e armazenamento. O valor da resistência à compressão uniaxial depende da estrutura, da granulação, do grau de alteração da rocha e da presença de microfissuras na rocha empregada.

Os valores detectados fornecem informações da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, mostrando o

valor máximo da tensão que a rocha pode suportar antes da ruptura.

Para a realização deste ensaio, são confeccionadas 3 amostras cúbicas com 7 cm de aresta, e colocadas em uma prensa. Caso a amostra apresente acamamento, este ensaio é realizado para cada direção da rocha, paralela e perpendicular às suas estruturas. As amostras são submetidas a cargas que são aplicadas de maneira contínua e progressiva a uma taxa em torno de 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura. Então, anota-se o valor da força de ruptura máxima registrada e tira-se a média aritmética para as 3 amostras, segundo a norma NBR 12.767.

O valor da tensão de ruptura da rocha é calculado através da seguinte expressão:

$$\tau_c = P/A \quad (10)$$

onde:

τ_c = tensão de ruptura da rocha por compressão uniaxial (MPa)

P = força máxima de ruptura (kg)

A = área da base do corpo de prova (cm²)

Os resultados obtidos para o cálculo da tensão de ruptura do serpentinito com aplicação de carga paralela e perpendicular à lineação mineral apresentam uma variação que corresponde a 87,2 a 151,5 MPa e 102,0 a 158,1 MPa, respectivamente. Esta variação encontrada, provavelmente, está relacionado à granulometria e aos veios existentes em cada amostra, uma vez que algumas amostras apresentam-se de maneira mais homogênea e de granulometria mais fina, outras de granulometria mais grossa e, ainda, aparecem veios de espessuras variadas com direções aleatórias.

Mas, de uma maneira geral, comparando os valores médios de tensão de ruptura encontrados para o serpentinito, 130,3 MPa e 131,1 MPa para aplicação de carga paralela e perpendicular à lineação mineral respectivamente, pode-se concluir que estes valores estão inclusos nos valores limites sugeridos. Segundo Frazão e Paraguassu (1998), o valor para a compressão uniaxial deve ser igual ou maior que 52 MPa.

Os ensaios de compressão puntiforme permitiram estimar os valores da tensão de ruptura. Os resultados obtidos para esta tensão de ruptura com aplicação de carga perpendicular à lineação mineral variam entre 155,2 MPa e 242,4 MPa, sendo a média encontrada de 195,5 MPa. Para a aplicação de carga paralela à lineação mineral os valores encontrados variam de 113,8 MPa a 241,5 MPa, sendo a média encontrada de 193,7 MPa. Estes resultados referentes ao ensaio de compressão puntiforme encontram-se superiores aos encontrados no ensaio de resistência à compressão uniaxial. Provavelmente, se deve ao fato das dimensões utilizadas para o ensaio de compressão puntiforme serem menores, acarretando na não representatividade das características reais do serpentinito.

Resistência à flexão

Este ensaio revela qual a resistência efetiva ou potencial das placas de revestimento, principalmente quando são fixadas por ancoragem metálica sem argamassa e a grandes alturas, sendo submetidas a esforços paralelos ao seu comprimento. Este parâmetro depende da estrutura e da textura da rocha a ser empregada como revestimento.

São preparadas cinco amostras com as dimensões de 20 cm x 10 cm x 5 cm, com superfícies planas e paralelas, e colocados na mesma prensa em que é realizado o ensaio de compressão uniaxial. Para a determinação da resistência à flexão as amostras são colocadas sobre os cutelos inferiores a uma distância de 1 cm na extremidade de cada lado. O cutelo superior deve ficar em cima da amostra, na metade de sua distância superior. Aplica-se, então, uma carga inicial para promover a estabilidade do sistema corpo de prova, cutelos e prensa. A aplicação da carga deve ser realizada de forma lenta e progressiva até a obtenção da ruptura do corpo de prova, a uma taxa em torno de 4.500 N/min, segundo a norma NBR 12.763.

A tensão de ruptura do corpo é obtida através da seguinte expressão:

$$\tau = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (11)$$

onde:

τ = tensão de ruptura do corpo (MPa)

P = força de ruptura (kg)

L = distância entre as duas linhas extremas traçadas no corpo de prova (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

d = altura do corpo de prova (cm)

Os valores obtidos para a tensão de ruptura com aplicação de força perpendicular variam de 16,9 a 25,6 MPa, sendo que o valor médio é de 21,0 MPa, e com aplicação de força paralela à lineação mineral variam de 10,0 a 16,5 MPa, sendo que o valor médio é de 12,8 MPa. Para o ensaio de resistência à flexão com aplicação de carga paralela e perpendicular à lineação mineral, ambos resultados dos valores médios obtidos se encontram dentro dos valores sugeridos por Frazão e Paraguassu (1998). Segundos estes autores, o valor da tensão de ruptura deve ser igual ou maior que 7 MPa. A variação dos valores encontrados é devido ao grau de sanidade da rocha e a sua granulometria. Rochas menos alteradas e com granulometria mais fina, portanto, mais compactas, tendem a apresentar maiores valores para a tensão de ruptura.

Resistência ao desgaste

A resistência ao desgaste é também conhecida como desgaste Amsler. Avalia a resistência da rocha aos esforços e à coesão dos seus minerais constituintes, ou seja, este método mede a resistência do material à abrasão, principalmente quando é usado em pisos e locais de tráfego intenso.

Este ensaio revela a perda de espessura da amostra através da desagregação superficial e remoção de partículas quando submetida a forças de atrito. A execução deste ensaio é obtida segundo a norma NB 3.379. A preparação de amostras é realizada através de duas placas com 75 mm x 75 mm x 25 mm. Estas amostras são colocadas em sapatas na máquina de desgaste Amsler que devem mantê-las sobre material abrasivo (areia

seca número 50 ou 0,3 mm), e o contador automático faz a contagem do número de voltas que a amostra percorre sobre a pista.

A rotação para os corpos de prova deve ser em torno de 0,6 ($\pm 0,02$) rpm, de forma que a extensão percorrida pela amostra, a cada rotação, deva ser de 200 (± 2) cm. Então, é observada a redução da altura da placa e o resultado é expresso em milímetros através da média aritmética dos valores de desgaste dos corpos de prova.

Os resultados obtidos para o ensaio de desgaste Amsler são expressos em termos de perda de espessura para as direções paralela e perpendicular à lineação mineral. A oscilação destes valores está relacionada à variação granulométrica e à presença dos veios presentes nas amostras utilizadas para este ensaio. A variação de valores para o ensaio de desgaste Amsler varia de 1,3 a 1,8 mm. A variação dos valores encontrados neste ensaio se encontra abaixo do sugerido, mas de uma maneira geral pode-se dizer que os resultados encontrados são satisfatórios, uma vez que, quanto menor o valor encontrado para o ensaio de desgaste Amsler, maior será a resistência da rocha ao desgaste abrasivo.

Resistência ao impacto de corpo duro

A determinação da resistência ao impacto está diretamente relacionada à compactação da rocha, bem como a sua estrutura, e avalia as características da rocha quanto à capacidade de suportar golpes e impactos quando utilizadas em pavimentos, degraus de escadas e prateleiras.

Foram preparadas seis placas de 20 cm x 20 cm x 3 cm com as superfícies perfeitamente planas. Segundo a norma NBR 12.764, as amostras são colocadas apoiadas em um colchão de areia de 10 cm de espessura que deve estar bem nivelado. Então, deixa-se cair sobre elas uma esfera de aço de 1 kg, com altura inicial de 20 cm. Este processo deve ser repetido acrescentando-se 5 cm a cada vez até que ocorra a ruptura da placa, anotando-se a altura em que esta ruptura aconteceu.

Depois, calcula-se a média aritmética das alturas obtidas.

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro foram analisados segundo a granulometria, presença de veios e de alteração nas amostras do serpentinito.

Duas amostras (A e B) apresentaram os maiores valores para este ensaio. Os valores obtidos para a ruptura variam entre 90 e 100 cm. Estas duas amostras são bem compactas e homogêneas contendo uma granulometria bem fina e pouquíssimos veios. Os valores elevados para estas duas amostras estão relacionados à coesão da rocha, que neste caso é maior por causa das características de estarem bem compactadas, homogêneas e com fina granulometria.

Três amostras revelaram valores de ruptura que variaram de 50 a 55 cm. Estes valores estão mais baixos em relação às amostras anteriores, porque a granulometria destas é maior e, também, é maior a presença dos veios que se apresentam com espessuras variadas e sem orientação preferencial.

Uma sexta amostra apresentou o menor valor de ruptura, 30 cm, que está associado à granulometria maior em relação às amostras A e B. Além deste fator, esta amostra apresenta uma coloração um pouco amarelada resultando em uma amostra alterada. Possivelmente, esta amostra é superficial do maciço, onde há contato com a parte estéril, e esta alteração pode ser decorrente do próprio intemperismo ou de percolação de água.

Módulo de deformabilidade estático

O módulo de deformabilidade estático determina a deformabilidade da rocha quando submetida a esforços compressivos uniaxiais. Segundo Frazão e Farjallat (1998), 'o valor do módulo de deformabilidade é muito importante para avaliar a qualidade de uma pedra de revestimento, pois valores elevados de módulos (baixa deformabilidade) sugerem baixa porosidade, altas resistências mecânicas, baixo grau de alteração, etc.'

Este ensaio é realizado na mesma prensa e com igual aplicação de carga utilizada para o ensaio de compressão uniaxial. Consta de 5 amostras cilíndricas, no estado seco, com diâmetro igual ou superior a 54 mm, cuja relação base-altura varie de 2,0 a 2,5. Estas amostras devem ter as bases bem planas, paralelas e lisas para que o resultado seja o mais representativo possível. Tomam-se pelo menos cinco medidas do comprimento e do diâmetro de cada amostra e, depois, é calculada sua média aritmética. Coloca-se um anel em cada extremidade da amostra e anota-se a medida da altura entre eles. Em um dos anéis é anexado um relógio comparador para registrar a compressão que a amostra irá sofrer, em milímetros, durante a aplicação da carga. A amostra é levada para a prensa e inicia-se a aplicação da carga. Deve ser anotado o tempo gasto para que ocorra a ruptura, o valor da força de ruptura e os valores registrados pelo relógio comparador para intervalos de tempo pré-determinados. O resultado é apresentado em forma de gráfico mostrando uma curva do tipo tensão *versus* deformação específica, sendo o módulo de deformabilidade calculado através das coordenadas desta curva.

Calcula-se o módulo de deformabilidade estático através da seguinte expressão:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (12)$$

onde:

E = módulo de deformabilidade estático (MPa)

$\Delta\sigma$ = incremento da tensão axial no intervalo considerado (MPa)

$\Delta\epsilon$ = incremento da deformação axial (adimensional)

A variação para os valores do módulo de deformabilidade encontrados para a amostra de serpentinito foi de 20,6 a 36,4 GPa, apresentando uma média de 33,1 GPa. As amostras ensaiadas se encontram nos valores sugeridos por Carregã e Balzan (1998) que varia de 30 a 70 GPa. Somente uma das amostras apresentou um valor mais

baixo correspondendo a 20,6 GPa. Este fato pode estar associado ao grau de alteração da rocha, pois trata-se de uma amostra macroscopicamente mais alterada em relação às outras.

Velocidade de propagação de ondas

A velocidade de propagação de ondas depende do grau de alteração, da estrutura e da porosidade da amostra ensaiada. Para valores elevados de porosidade e grau avançado de alteração, menores serão os valores da velocidade de propagação de ondas.

Este método consiste na emissão e no recebimento de vibrações de ondas através da utilização de cristais piezelétricos, que são colocados nas extremidades da amostra. Podem ser utilizadas no mínimo cinco amostras que contenham pelo menos duas faces lisas e paralelas. O comprimento entre estas faces deve ser medido.

A medida da diferença de fase através de um osciloscópio revela o tempo de percurso das ondas. Logo, a velocidade de propagação de ondas é obtida através da seguinte expressão:

$$V = \frac{H}{\Delta t} \quad (13)$$

onde:

V = velocidade de propagação de ondas (m/s);

H = comprimento da amostra (m);

Δt = tempo de percurso da onda (s).

Segundo Frazão e Farjallat (1998), a determinação da velocidade de propagação de ondas 'não é uma solicitação típica em revestimentos no Brasil, porém a sua determinação em placas que se destinam a esse uso serve como um índice de qualidade'.

Duas amostras apresentaram os menores valores para a velocidade de propagação de ondas que variam de 5.166 a 5.288 m/s. Isto é coerente, uma vez que

estas amostras se apresentam bem alteradas. Para as amostras sãs ensaiadas, os resultados obtidos variaram de 5.346 a 5.750 m/s. Pode-se, então, concluir que quanto maior o grau de sanidade da amostra ensaiada maior será o valor para a velocidade de propagação de ondas.

Para a velocidade de propagação de ondas do serpentinito não foram encontradas especificações.

Coefficiente de dilatação térmica linear

A determinação do coeficiente de dilatação térmica linear é importante para prever juntas de dilatação e durabilidade da rocha, quando estas são usadas para revestimentos exteriores, em lugares onde há grande variação de temperatura, pois esta variação acarreta variação do volume da rocha. Com a análise do resultado deste coeficiente pode ser evitado o descolamento ou o empenamento das placas, e também se pode ter uma noção sobre a durabilidade da rocha, no que diz respeito ao afrouxamento ou ao estreitamento das ligações intercristalinas.

Para este ensaio são preparadas duas amostras cilíndricas cujos comprimentos são em torno de duas vezes maior que a dimensão da base, segundo a norma NBR 12.765.

Estas amostras são colocadas no equipamento de dilatação térmica linear e são aquecidas (0°C a 50°C) e resfriadas (50°C a 0°C). Após o cálculo dos coeficientes de dilatação térmica linear para cada amostra, faz-se a média aritmética dos resultados encontrados.

Os coeficientes de dilatação térmica linear são obtidos através das seguintes expressões:

$$\beta_1 = \Delta L_1 / (L_0 \times \Delta T_1) \quad (14)$$

$$\beta_2 = \Delta L_2 / (L_0 \times \Delta T_2) \quad (15)$$

onde:

β_1 = coeficiente de dilatação térmica linear no resfriamento (°C⁻¹) ou (mm/(mm°C))

β_2 = coeficiente de dilatação térmica linear no aquecimento (°C⁻¹) ou (mm/(mm°C))

ΔL_1 = diferencial de comprimento do corpo de prova no resfriamento (mm)

ΔL_2 = diferencial de comprimento do corpo de prova no aquecimento (mm)

L_0 = comprimento inicial do corpo de prova (mm)

ΔT_1 = diferencial de temperatura no resfriamento (°C)

ΔT_2 = diferencial de temperatura no aquecimento (°C)

Resistência à gelividade

A determinação da resistência à gelividade é um parâmetro importante para a utilização das rochas ornamentais em regiões de clima frio, principalmente quando empregadas como revestimento de ambientes externos.

Nestas regiões, quando a temperatura diminui muito no inverno, a água acumulada nos poros das rochas sofre o congelamento e conseqüentemente a expansão de seu volume. O ciclo gelo/degelo acarreta na diminuição da resistência da rocha, podendo chegar até à sua desagregação.

O ensaio da resistência à gelividade é solicitado para rochas que serão exportadas para países que apresentem estas condições.

Para o ensaio são utilizadas 6 amostras cúbicas com 7 cm de aresta. Sua realização consta de 25 ciclos de gelo/degelo (-15°C a +20°C). O peso médio (%) perdido pela amostra exprime o chamado módulo de gelividade. O controle da resistência da rocha é feito pela diferença entre as resistências de compressão uniaxial antes e depois do ensaio. Caso a amostra apresente acamamento, são realizados ensaios para as direções perpendicular e paralela ao acamamento. A rocha é considerada não afetada pela gelividade quando este valor for menor que 20%.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados para a caracterização tecnológica do serpentinito para fins ornamentais foram obtidas as conclusões apresentadas a seguir.

As amostras contendo veios, graus de alteração mais avançados e granulometria maior se mostraram menos resistentes em todos os ensaios executados.

Nos ensaios de *índices físicos*, o serpentinito apresentou, de uma maneira geral, massa específica aparente seca um pouco abaixo dos valores sugeridos, o que pode estar relacionado à presença dos veios e a alterações nas rochas ensaiadas. A absorção de água aparente e a porosidade aparente são relativamente altas, portanto, não é recomendado o uso do serpentinito para bancadas de cozinha, pias e para revestimento externo, uma vez que o serpentinito pode absorver a água e demais substâncias manuseadas podendo causar o aparecimento de manchas.

A *resistência à compressão puntiforme* dá uma estimativa para a resistência à compressão uniaxial. Entretanto, os resultados encontrados para a resistência à compressão uniaxial foram bem distintos dos resultados da estimativa obtidos. Isto revela que, para o caso do serpentinito estudado, os resultados desta estimativa na resistência à compressão puntiforme não foram adequados.

Para a *resistência à compressão uniaxial* em amostras cúbicas, os valores obtidos tanto para os ensaios onde a aplicação de carga foi perpendicular, quanto paralela à lineação mineral, encontram-se superior ao valor sugerido. Os resultados obtidos nestas duas direções mostraram uma pequena diferença, mas já era de se esperar que a força quando aplicada na direção perpendicular fosse relativamente maior que na paralela. Mas esta diferença torna-se desprezível, uma vez que para o serpentinito estudado, é muito pequena. Logo, estas rochas podem ser utilizadas como pilar de sustentação de móveis e estruturas de adorno.

Na *resistência à flexão* os resultados obtidos estão também relacionados à granulometria e à presença de veios na amostra de serpentinito. De uma maneira geral, os resultados se encontram dentro dos valores sugeridos, podendo-se dizer que o serpentinito irá suportar cargas de solicitação de flexão como, por exemplo, durante as etapas de polimento.

A *resistência ao desgaste Amsler* mostrou o comportamento do serpentinito diante de material abrasivo, através do surgimento de pequenos sulcos. Também deve ser considerada a sua composição mineralógica, pois os minerais constituintes deste serpentinito apresentam dureza baixa, sendo mais susceptível a riscos. Portanto, não é recomendado para pisos e escadas onde há tráfego intenso.

Através dos resultados obtidos na *resistência ao impacto de corpo duro*, pode-se concluir que a resistência do serpentinito diminui com o aumento da granulometria, com a presença de veios e com o aumento no grau de alteração. Portanto, as amostras que apresentam maiores valores de resistência ao impacto de corpo duro podem ser dimensionadas nas espessuras normais de uso (2 a 3 cm) sem a preocupação de ocorrer trincamento e/ou rompimento da placas.

Os valores obtidos para o ensaio de determinação do *módulo de deformabilidade estático* se encontram inseridos nos valores sugeridos. Portanto, o serpentinito pode ser utilizado como pilar de sustentação de móveis e estruturas de adorno. Este ensaio confirma as conclusões já mencionadas para a determinação da resistência de compressão uniaxial, uma vez que estes dois ensaios se referem à pedra com função estrutural e não como pedra de revestimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials – ASTM. (1995). Standard test method for determination of the point load strength index of rock (D 5.731), 7p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1990). Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão (NB 3.379), ABNT, Rio de Janeiro, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1992). Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão (NBR 12.763), ABNT, Rio de Janeiro, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1992). Rochas para revestimento.– .Determinação da resistência ao impacto do corpo duro (NBR 12.764), ABNT, Rio de Janeiro, 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1992). Rochas para revestimento – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear (NBR 12.765), ABNT, Rio de Janeiro, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1992). Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente (NBR12.766), ABNT, Rio de Janeiro, 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1992). Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial (NBR 12.767), ABNT, Rio de Janeiro, 2p.

Carregã, D. L. e Balzan, G. (1998). Propriedades dos maciços rocosos e algumas aplicações na engenharia civil. In: Ayres da Silva, L. A., Quadros, E. F., Gonçalves, H. H. S. 1998 – Design and construction in mining, petroleum and civil engineering, São Paulo, p.81-87

Chiodi, C.F. e Rodrigues (1997) – Indicadores de alterabilidade para rochas silicáticas e carbonáticas em

revestimentos. Revista Rocha e Equipamentos, Ano XIII, nº 48, p. 70-84.

Frazão, E. B. e Paraguassu, A. B. (1998). Materiais rochosos para construção. In: Geologia de Engenharia, publicação da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, p. 331-342.

Jimeno, C. L. (1996). Manual de rocas ornamentales, prospección, explotación, elaboración y colocación, Entorno Grafico, Madrid, 615 p.

CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS E TECNOLÓGICAS DOS GRANITOS ORNAMENTAIS DO STOCK SERRA DO BARRIGA, SOBRAL/CE

Irani Clezar Mattos¹; Antonio Carlos Artur²; José Araújo Nogueira³

¹ SENAI/CE e Pós-Graduação - IGCE/ UNESP; (85)3281-6877, icmattos@sfiec.org.br, R. Júlio Pinto, 1873. CEP60035-010. Fortaleza/CE; ² DPM-IGCE/UNESP; (19)3526-2824, acartur@rc.unesp.br, Av. 24A, 1515 CEP13506-900. Rio Claro/SP; ³ Depto. de Geologia – UFC, nogueira@ufc.br; (85) 4008-9867

RESUMO

Apresenta-se aqui um estudo comparativo entre os aspectos petrográficos dos quatro diferentes granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga e seus ensaios físico-mecânicos. O *stock* granítico localiza-se a NNW do Ceará, apresenta forma arredondada com 30 km², é pós-tectônico, polintrusivo, composto por diversas faciologias. Dentre estas foram investigadas os tipos comercialmente conhecidos por Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

Algumas correlações entre petrografia e valores físico-mecânicos são diretas e evidentes, como índice de cor das rochas e massa específica aparente, grau de microfissuramento e porosidade aparente e absorção d'água, que se relacionam com quantidade e tipos de microfissuras. Os granitos com menores teores de quartzo, maiores de feldspatos e micas apresentam maiores desgastes abrasivos. A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas confirma que os fácies rosas (Iracema e Olinda) são os tipos com maiores massas específicas, mais resistentes à flexão e menos alterados, denotando a importância da utilização do pulso ultra-sônico na avaliação qualitativa de rochas. As maiores razões entre os valores de compressão uniaxial e de flexões exibidas pelos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) refletem seus teores de minerais secundários e grau de microfissuramento mais elevados, evidenciados pela menor velocidade das ondas ultra-sônicas. Os granitos rosas apresentaram melhores desempenhos em

termos de resistência às flexões e as menores dilatações térmicas, enquanto que os brancos são mais resistentes à compressão. Esta característica é reflexo direto da heterogeneidade textural (granulação; tipos de contatos minerais), microfissuramentos, teores de minerais hidrotermais/deutéricos e de alteração intempélica (argilização de feldspatos; óxidos e hidróxidos de ferro de micas e de minerais opacos).

Os resultados obtidos qualificam os quatro tipos graníticos como detentores de boa qualidade, cujos parâmetros tecnológicos são superiores ou próximos aos valores limítrofes estabelecidos para utilização como rochas ornamentais, permitindo recomendá-los para aplicações tanto em ambientes interiores como exteriores.

INTRODUÇÃO

O comportamento das rochas ornamentais frente aos esforços e solicitações às quais estão expostas está condicionado às suas características mineralógicas, estruturais, texturais e tecnológicas. Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre os principais aspectos petrográficos dos quatro diferentes granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga e de seus respectivos ensaios físico-mecânicos. O *stock* granítico Serra do Barriga está localizado na porção NNW do Estado do Ceará, no município de Sobral. Apresenta forma arredondada, com aproximadamente 30 km² de exposição. O granito está inserido na porção noroeste do

DCC (Domínio Ceará Central), corresponde a um corpo pós-tectônico de caráter polintrusivo, no qual são distinguidos diversos tipos faciológicos, cujos critérios de variação estão associados à coloração, granulação e proporção mineralógica. Dentre as variedades graníticas da Serra do Barriga foram estudados quatro tipos explorados como rochas ornamentais, comercialmente denominados por Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

O estudo das propriedades tecnológicas buscou determinar as características físico-mecânicas das quatro variedades graníticas, que permitam avaliar o comportamento destes materiais frente às condições ambientais e solicitações a que estão sujeitos quando aplicados em obras civis, como atrito, impacto, esforços fletores e compressivos e variações de temperatura.

PETROGRAFIA

O granito Rosa Iracema constitui a faciologia dominante do corpo granítico, sendo que os demais tipos ocorrem sob formas circunscritas dentro do arcaibouço

litológico do primeiro. Os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) afloram como lajedos na base e maciços rochosos nas encostas. Seus contatos com o tipo Rosa Iracema são gradacionais, e refletem a transição do granito rosa para os tipos brancos através da ação de alterações hidrotermais sobre os primeiros.

Os granitos da Serra do Barriga, de modo geral, são de granulação média a grossa, hipidiomórficos, compostos por microclínio, quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio), podendo apresentar como minerais acessórios biotita, hornblenda, apatita, opacos, titanita, allanita e fluorita. Minerais secundários, em quantidades reduzidas, estão representados por sericita, muscovita, clorita, epidoto, carbonatos e argilominerais, além da presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Correspondem a variedades de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfiríticos, com leve predomínio dos primeiros, diferenciados entre si tanto pela coloração quanto pelos aspectos composicionais e texturais exibidos. As principais características petrográficas observadas encontram-se sintetizadas na Tabela 1.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO
Coloração		Rosa a Rosa claro	Rosa acinzentado	Branco acinzentado	Branco acinzentado
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Textura		Inequigranular	Megaporfírico serial	Inequigranular	Inequigranular
Granulação		Média-Grossa	Média-Grossa	Média a Grossa	Média-Grossa
Mineralogia (%)	Quartzo	30,0	28,0	34,0	35,0
	Feldspato potásico	43,0	36,0	43,0	40,0
	Albita	4,5	2,2	2,0	3,0
	Oligoclásio	13,0	19,8	14,0	14,0
	Biotita	6,0	10,0	5,0	4,0
	Hornblenda	0,5	0,5	-	-
	Titanita, apatita, zircão, opacos, allanita	1,0	2,0	0,5	1,0
	Fluorita	Tr		0,5	0,5
	Clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidr. ferro	2,0	1,5	1,0	2,5
Total minerais máficos (%)		7,5	13,0	7,0	8,0
Micro-fissuras	Total/mm ²	0,24	0,22	0,31	0,25
	Intragrão(%)	93	81	91	94
	Intergrão (%)	7	19	9	6
	Comunicabilidade	baixa	baixa	baixa	baixa
Alteração Mineral	Feldspato K	Incipiente/baixo	Baixo	Moderado	Moderado
	Plagioclásio	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
	Biotita	Moderado/alto	Baixo	Moderado/alto	Moderado/alto
Classificação Petrográfica		Sienogranito inequigranular grosso	Biotita monzogranito megaporfírico	Sienogranito inequigranular médio-grosso	Sienogranito inequigranular grosso

Tabela 1: Síntese das características petrográficas dos quatro tipos do *stock* Granítico Serra do Barriga.

CACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os resultados dos ensaios apresentados pelos granitos estudados foram correlacionados com os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais das respectivas rochas, visando o melhor entendimento do comportamento físico e físico-mecânico exibido por elas diante das diversas solicitações. Por se tratarem de granitos isotrópicos, os resultados finais das determinações das resistências mecânicas

representam a média dos resultados de seis corpos-de-prova submetidos aos ensaios.

Os ensaios mecânicos também foram efetuados em condições secas e saturadas em água. Estes resultados permitem avaliar o grau de enfraquecimento hidráulico de cada material em relação aos esforços neles aplicados. O coeficiente de enfraquecimento hidráulico **R** relaciona a resistência de um material seco e saturado e permite avaliar o efeito da

água na resistência mecânica dos materiais (Mesquita, 2002). Os resultados obtidos através dos ensaios realizados nos quatro tipos petrográficos do stock Granito Serra do Barriga encontram-se listados na Tabela 2. Os valores dos ensaios encontram-se também

representados em diversos diagramas ao longo dos respectivos itens e tem por finalidade possibilitar melhor visualização dos resultados obtidos e de facilitar correlações entre os diferentes parâmetros físicos, físico-mecânicos e petrográficos das rochas analisadas.

Índices Físicos

Visando um entendimento mais amplo do comportamento dos índices físicos, os mesmos foram correlacionados com os índices de coloração e de microfissuramento das respectivas rochas analisadas, representadas graficamente nas Figuras 1a e 1b. Os resultados obtidos para os índices físicos mostram que todos os quatro tipos graníticos ensaiados estão abaixo dos valores máximos para porosidade e absorção e acima dos índices mínimos para densidade sugeridos por Frazão e Farjallat (1995).

Os valores de massa específica são bastante próximos entre os quatro tipos graníticos, o mesmo ocorrendo

para os índices de porosidade e absorção d'água, onde os tipos ensaiados não apresentam grandes variações. Apesar da similaridade entre os valores dos índices físicos, o tipo Branco Savana (BS) apresenta a menor massa específica e os maiores índices de absorção e porosidade. Porém o Rosa Olinda (RO) é o tipo granítico com massa específica mais elevada, mas não apresenta as menores absorção e porosidade (figuras 1a e 1b).

De acordo com Mattos *et al.* (2003) os fatores que condicionam os índices de massa específica encontrados nos tipos graníticos estudados estão diretamente associados com a mineralogia e mais precisamente com a quantidade de minerais máficos presentes nas rochas.

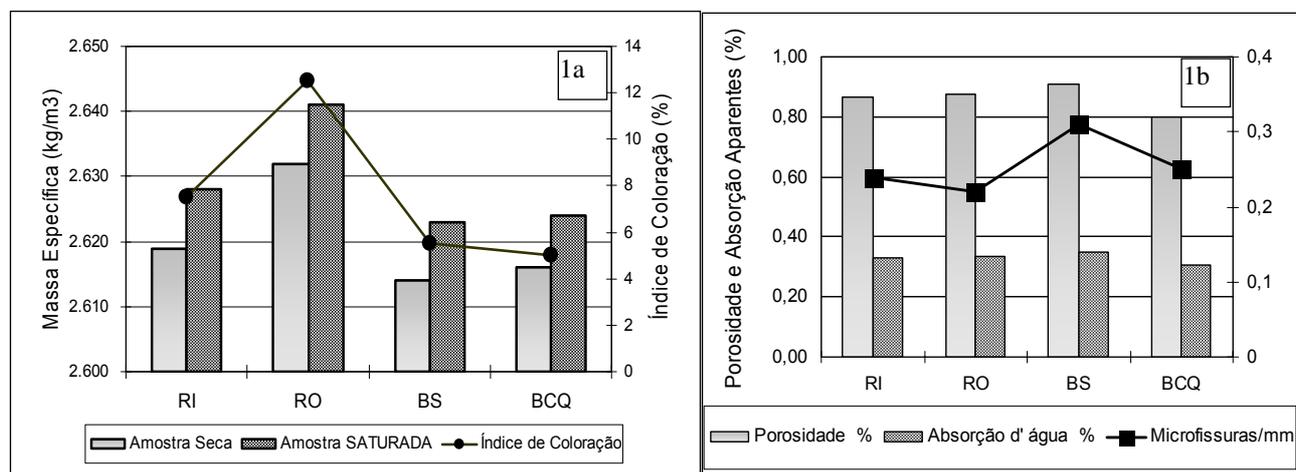


Figura 1a – Massa específica aparente seca e saturada correlacionados com o índice de coloração. Figura 1b – Porosidade e absorção aparentes correlacionados com o índice de microfissuramento dos granitos do stock Serra do Barriga. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzzo.

ENSAIOS/MATERIAIS		ROSA IRACEMA		ROSA OLINDA		BRANCO SAVANA		BRANCO CRISTAL QUARTZO	
Índices Físicos	Condições Ensaios	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
	Massa específica aparente (kg/m ³)	2.619	2.628	2.632	2.641	2.614	2.623	2.616	2.624
	Porosidade aparente (%)	0.87		0.88		0.91		0.80	
	Absorção d' água (%)	0.33		0.33		0.35		0.31	
Ensaio Mecânicos/Condições Ensaios		seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)		146.3	126.9	145.2	125.1	168.6	152.0	178.0	175.9
Resistência à Flexão 3 Pontos (MPa)		10.5	11.1	11.8	12.1	10,15	9.87	8.55	9.76
Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)		7.23	7.86	7.58	6.91	7.00	6.08	7.11	7.24
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)		0.49	0.61	0.51	0.64	0.45	0.54	0.52	0.62
Resistência ao Impacto de Corpo Duro (cm)		65.0	55.8	51.7	55.8	55.8	59.2	61.7	64.2
Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas (m/s)		4382	5487	4820	5544	4187	4995	4067	5005
Dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)	⊥ à corrida	6,2		7,6		7,8		5,5	
	// à corrida	5,7		5,5		5,5		5,1	
Coeficiente de enfraquecimento hidráulico - R (%)	Compressão Uniaxial	84,7		83,9		89,0		99,8	
	Flexão 3 pontos	94,6		97,5		97,2		87,6	
	Flexão 4 pontos	97,0		78,0		92,0		94,0	

Tabela 2 - Síntese dos resultados dos ensaios tecnológicos em amostras secas e saturadas dos quatro tipos graníticos do *stock* granítico Serra do Barriga.

A análise das figuras 1a e 1b corrobora com esta correlação, na medida em que a massa específica é relativamente maior nos granitos rosas (Iracema e Olinda), sobretudo no granito Rosa Olinda devido ao seu maior índice de minerais máficos. Os valores de densidade mais baixos nos granitos brancos Savana e Cristal Quartzito refletem seus menores teores de máficos e maiores de minerais félsicos, bem como os de alterações. Os valores de massa específica são muito próximos entre os tipos brancos (Savana e Cristal Quartzito) confirmando a semelhança composicional, que não se reflete nos valores de absorção e porosidade, uma vez que a textura, o grau de microfissuramento e de alteração mineral entre eles são distintas.

Os principais fatores que condicionam os índices de porosidade e absorção referem-se, além da granulação da rocha, ao grau de entrelaçamento, de microfissuramento e de alteração dos minerais constituintes da rocha. Estas variáveis influenciam diretamente no comportamento dos índices de absorção e de porosidade das rochas do stock granítico Serra do Barriga. O tipo Branco Cristal Quartzito exibe textura inequigranular grossa, com maior teor de minerais de alteração, e o tipo Branco Savana mostra granulação variando entre média a grossa. Este último apresenta ainda, os maiores índices de porosidade e absorção devido à maior concentração de microfissuras por mm^2 . O Branco Cristal Quartzito exibe valores opostos, ou seja, os menores índices de porosidade e absorção impressos pelo microfissuramento, que apesar de não ter os menores índices de microfissuras de todos os quatro tipos, em torno de 94% destas fissuras são do tipo intragrão refletindo baixa comunicabilidade entre as mesmas.

Os granitos rosas (Iracema e Olinda) exibem praticamente os mesmos valores de porosidade e absorção d'água, bem como em termos de seus índices de microfissuramento mineral. Apesar do tipo Rosa Olinda apresentar o menor índice de microfissuras, cerca de 20% destas são classificadas como intergrãos, conduzindo a um leve aumento da porosidade quando comparada com o Rosa Iracema. Neste

último, apenas 6% das suas microfissuras observadas são intergrãos, refletindo numa menor comunicabilidade entre as mesmas (Tabela 1).

Os ensaios no tipo Rosa Iracema indicaram também massa específica muito próxima às apresentadas pelos tipos graníticos brancos (Savana e Cristal Quartzito), o que é corroborado por certa semelhança na composição mineralógica entre os referidos granitos. Porém a porosidade e a absorção no Rosa Iracema exibem valores intermediários em relação aos dos granitos brancos, sendo menores que a apresentada pelo Branco Savana, devido ao grau de microfissuramento e de alterabilidade mineral proporcionalmente menores do primeiro granito.

Resistência a Compressão Uniaxial Simples

Trata-se de um índice de qualidade mecânica da rocha, cujos valores obtidos fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo através da determinação do valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura. Segundo Ciccu *et al* (1996), valores elevados de resistência à compressão implicam, geralmente, em valores baixos de porosidade e altos de resistência à flexão.

Os valores da resistência à compressão uniaxial foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas obtidos nas amostras ensaiadas (Figura 2). De acordo com a classificação apresentada pela ISRM (1979), todos os granitos ensaiados estão inseridos no intervalo das rochas muito resistentes. Porém, resistência à compressão destes granitos sob condições saturadas diminui, sobretudo nos tipos graníticos rosas (Olinda e Iracema), cujas resistências foram reduzidas pelo enfraquecimento hidráulico, posicionando-os abaixo do limite de 130 MPa especificado pela norma ASTM (1992). Nos granitos brancos o decréscimo na resistência à compressão não atinge valores abaixo dos limítrofes.

Os resultados representados através da figura 2 mostram que os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) são mais resistentes aos esforços compressivos, sobretudo o Branco Cristal Quartzo, quando comparados aos granitos rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda).

Os dados obtidos permitem separar os granitos estudados em dois grupos: o

grupo dos granitos rosas (Olinda e Iracema), que apresenta valores de resistência à compressão muito próximos entre si e dos granitos brancos (Savana e Branco Cristal). Na condição de saturação a resistência dos rosas é reduzida em 16% para o Rosa Olinda e em 15% para o Rosa Iracema. Como a queda na resistência ocorre de modo proporcional, os valores permanecem semelhantes após a saturação.

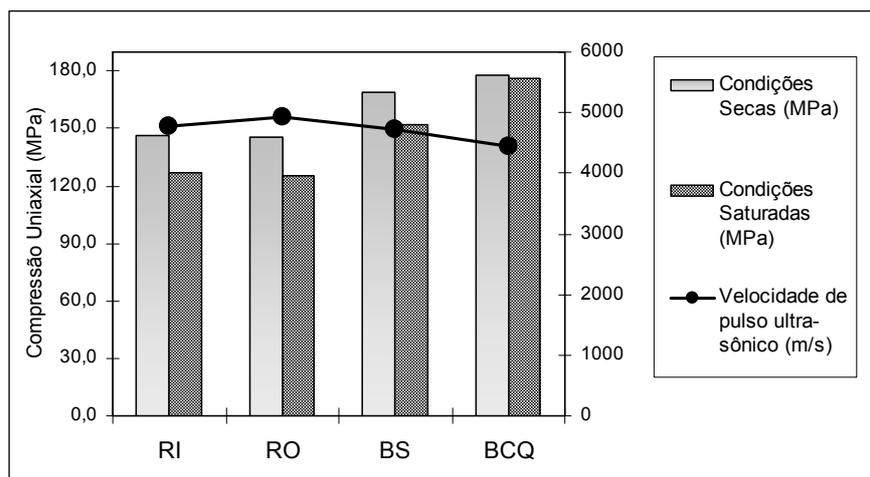


Figura 2 – Valores médios de resistência à compressão uniaxial (em MPa) dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

O grupo dos granitos brancos, mostram, por sua vez, certa discrepância entre os valores de resistência à compressão uniaxial quando testados em condições secas. Entretanto, a diferença do comportamento mecânico destes dois granitos é realçada após a saturação em água, expressa pela oscilação de seus valores em relação ao enfraquecimento hidráulico, com cerca de 11% para o Branco Savana e 1,2% para o Branco Cristal Quartzo.

O grupo dos granitos rosas apresenta os menores valores de compressão uniaxial devido não apenas à sua maior porosidade e absorção, mas também pela sua textura e composição. São granitos mais enriquecidos em feldspatos e em biotita, minerais com maior incidência de alterações, microfissuras e descontinuidades físicas (maclas e clivagens) e substituições químicas. O tipo Rosa Olinda exibe textura do tipo porfírica, com 30 a 35% de fenocristais de feldspato

potássico, que lhe confere maior ocorrência de contatos planos entre os minerais (em torno de 23%). Ocorre também maior porcentagem de microfissuramento intergrãos, que pela ação dos esforços conduz ao desenvolvimento e propagação das mesmas, imprimindo uma redução da resistência mecânica da rocha. Os menores valores de compressão uniaxial exibido pelo Rosa Iracema, dentre os tipos investigados, é tida como devendo-se à sua textura megaporfírica e à maior concentração de feldspatos e principalmente de biotitas, bem como pelas microdescontinuidades e estado de alteração mineral materializado por argilominerais, óxido/ hidróxido de ferro, sericita e mica branca (tabela 1).

Os valores mais elevados de resistência à compressão uniaxial fornecidos pelo granito Branco Cristal Quartzo, assim como seu reduzido enfraquecimento hidráulico de 1,2%, estão diretamente relacionados com os baixos

índices de absorção e de porosidade por ele exibida. Estes dados podem estar associados ao bom engrenamento mineral, no qual cerca de 80% dos contatos apresenta-se denteados e côncavo-convexos, determinados por cristais de quartzo e de feldspatos com feições de dissolução expressa no Branco Cristal Quartzo. A menor resistência à compressão uniaxial do Branco Savana em relação ao Branco Cristal Quartzo deve-se, sobretudo, aos índices de porosidade e absorção mais elevadas, impressas pela maior incidência de microfissuras. Além disto, em torno de 10% destas microfraturas são do tipo intergrãos, que reduzem a resistência da rocha, principalmente sob esforços compressivos (tabela 1).

O valor mais elevado de resistência à compressão apresentado pelo Branco Savana, em comparação aos granitos rosas, está relacionado ao bom engrenamento mineral, visto que em torno de 79% dos contatos são engrenados e, sobretudo, à sua granulação mais fina que, de acordo com a literatura, condiciona a rocha para uma maior resistência ao rompimento sob esforços compressivos.

Apesar da grande semelhança entre os valores de propagação de ondas ultra-sônicas fornecidas pelas rochas, a correlação destas velocidades com os índices de compressão uniaxial não se mostra direta, principalmente para as rochas em condições saturadas. Isto evidencia a existência de outros parâmetros influenciando nos resultados obtidos que devem ser considerados, com o intuito de ampliar o entendimento do desempenho da velocidade de propagação de ondas nas rochas estudadas. De acordo com a literatura, diversos parâmetros podem ser correlacionados na análise do comportamento da propagação de ondas, como textura, granulação, engrenamento mineral, grau de absorção e porosidade, grau de microfissuramento, grau de alteração, entre outros.

Nos granitos estudados, a maior velocidade de propagação de ondas registrada no Rosa Olinda mostra-se

coerente devido ao seu maior índice de massa específica entre todas as amostras. Para os tipos graníticos Rosa Iracema e Branco Savana, as velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas são bastante similares, e podem estar associadas aos índices de porosidade e de absorção, também similares.

De acordo com Meyer (2003) as maiores velocidades de propagação das ondas são fornecidas, sobretudo pelos materiais com fracas anisotropias e granulações mais finas. Pode-se presumir que, comparando-se os tipos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo, a maior velocidade registrada para o granito Savana está associada à sua granulação, que se mostra mais fina, quando comparada ao Branco Cristal Quartzo. Outro fator que influencia na baixa velocidade de propagação é a menor massa específica apresentada pelo Branco Savana.

O tipo granítico Branco Cristal Quartzo, apesar de ser mais resistente à compressão, apresentar a menor absorção e porosidade, possui a menor velocidade de propagação de ondas, provavelmente relacionada a sua menor massa específica e, sobretudo ao maior grau de alterabilidade (representada por muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos).

De modo geral todos os granitos analisados demonstram boa resistência mecânica, enquadrando-se na categoria das rochas muito resistentes segundo a classificação proposta pela ISRM (1979), o que permite qualificá-los como adequados para uso com funções estruturais. No entanto ao se empregar os tipos graníticos Rosa Iracema e Rosa Olinda como colunas, ou peças de sustentação, deve-se tomar certa prevenção ao submetê-los em ambientes úmidos ou externos, pois ambos apresentam redução na resistência dos esforços compressivos sob condições saturadas em água.

Resistência à Flexão

- **Método dos 3 Pontos**

Os resultados de flexão sob condições secas fornecidos pelas amostras dos quatro tipos graníticos estudados revelam certa discrepância destes materiais perante esforços fletores. As amostras dos granitos rosas (Olinda e Iracema) e do Branco Savana mostram-se entre 5 a 11,8% acima dos valores mínimos aceitáveis sugeridos Frazão & Farjallat (1995), enquanto que o Branco Cristal Quartzo encontra-se 17% abaixo dos referidos valores mínimos.

Estes mesmos materiais, sob condições saturadas, fornecem, ao contrário do esperado, maior resistência à flexão no caso dos granitos rosas (Olinda e Iracema). Porém nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) ocorre redução da resistência, posicionando-os respectivamente em 1,32 e 2,46 % abaixo do referido limite de 10 MPa.

A resistência das placas sob esforços fletores a três pontos mostra-se, de forma geral, maior para os granitos rosas, sendo o Rosa Olinda o mais resistente de todas as amostras. Comparativamente os granitos brancos apresentam resistência menor, sendo o Branco Cristal Quartzo o menos resistente, como exibido na Figura 3a.

O diagrama da figura 3a apresenta uma correlação entre a resistência à flexão pelo método 3 Pontos com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, que ocorre de forma direta e coerente. Os granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema apresentam os valores mais altos, provavelmente devido ao seu bom engrenamento mineral.

As menores resistência e velocidade foram registradas nos granitos brancos, o que reflete o grau de alteração mineral, entre moderado a alto, expresso pela presença de sericita, mica branca, argilominerais, carbonatos e óxidos de ferro, além da forte influência do microfissuramento que ocorre entre 25 a 31%. A maior resistência à flexão no tipo Branco Savana pode estar relacionada à menor proporção das alterações minerais e à sua textura que, apesar de inequigranular, apresenta-se menos grossa, comparada ao Branco Cristal Quartzo.

O granito Branco Cristal Quartzo, apesar de apresentar maior resistência à compressão e menor absorção e porosidade, possui a menor resistência à flexão, confirmada pela sua menor propagação de ondas ultra-sônicas, o que pode estar associada à sua menor densidade e sobretudo ao grau moderado a alto de alterabilidade representada por muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos substituindo feldspatos.

Em termos gerais, a correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas e os valores de resistência à flexão 3 pontos é direta para todas as amostras dos granitos estudadas, tanto em condições secas como em condições saturadas. Esta associação corrobora com os valores de resistência à flexão, onde a maior velocidade de propagação de ondas está representada pela amostra com maior resistência à flexão, no caso, o tipo granítico Rosa Olinda. Os granitos Rosa Iracema e Branco Savana apresentam valores intermediários e muito próximos de velocidade de propagação de ondas, seguindo o mesmo comportamento para a resistência à flexão.

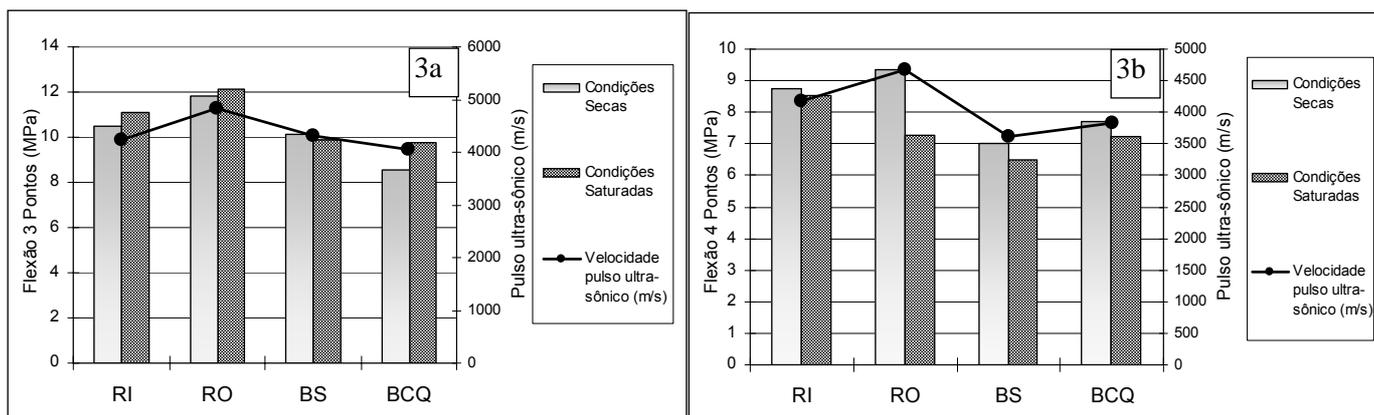


Figura 3 – Resistências às flexões 3 pontos (3a) e 4 pontos (3b) dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas, correlacionados com a propagação de ondas ultra-sônicas. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

• Método dos 4 Pontos

Este ensaio determina a resistência à flexão com carregamento em quatro pontos, e denominado de flexão na tração. Os resultados obtidos permitem determinar a área e a espessura mínima segura para o suporte de esforços fletores das placas de rochas, quando aplicadas em fachadas.

A figura 3b representa os valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão 4 pontos correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Esta relação mostra-se diretamente proporcional em todos os quatro tipos graníticos estudados, incluindo as amostras sob condições secas.

Os resultados obtidos neste ensaio permitiram reunir os granitos estudados em dois grupos com diferentes comportamentos mecânicos, a dos granitos rosas (Iracema e Olinda) e dos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo). Os granitos do primeiro grupo são os que exibem as maiores resistências à flexão tanto sob condições secas como saturadas. Apesar da constatação na redução da resistência sob condições de saturação em água, os valores exibidos pelos granitos estudados não influem negativamente a ponto de desqualificá-los para sua aplicação como materiais de revestimento.

Os valores de maior resistência à flexão, tanto a três quanto a quatro pontos, registrados para o granito Rosa Olinda deve-se ao bom engrenamento mineral deste material, mesmo se tratando de um granito com textura porfírica, pois seus fenocristais exibem contornos com marcantes feições de micro-corrosões que induz a um bom entrelaçamento com os demais minerais da matriz. A menor resistência nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) está associada principalmente à maior granulação dos mesmos, presença de quartzo, mineral de comportamento altamente frágil, e secundariamente pela herança das alterações pós-magmáticas. Estas alterações são expressas pelas substituições de sericita e mica branca no microclínio e plagioclásio, os quais apresentam moderado grau de alteração e também pela forte presença de fluorita entre os minerais. A presença de quartzo associada às referidas alterações pode imprimir um enfraquecimento destas rochas só revelado, quando submetidas a esforços fletores.

A comparação das figuras 3a e 3b revela que a resistência à flexão 3 pontos segue o mesmo padrão apenas para o grupo dos granitos rosas sob condições saturadas, no qual o tipo Rosa Olinda é o mais resistente e o Rosa Iracema possui valores intermediários de resistência. No grupo dos granitos brancos os índices apresentados não acompanham a mesma proporção entre os dois ensaios. O granito Branco Cristal

Quartzo, que na flexão a 3 pontos mostrou menor resistência entre os brancos, apresenta-se como o tipo granítico de maior resistência à flexão a 4 pontos. Isto reflete a heterogeneidade da rocha, que possui textura inequigranular grossa, com cristais de feldspatos e quartzo de variadas formas e tamanhos de até 40 mm, que responde diferentemente de acordo com a espessura do corpo de prova e com o tipo de esforço aplicado.

De modo geral os granitos analisados mostram-se adequados para aplicação sob ação de esforços fletores, pois suportam cargas acima dos valores mínimos determinados para granitos pela norma ASTM C-880 (1992). No entanto, ao

empregar os tipos graníticos Branco Savana e, principalmente, o Branco Cristal Quartzo em fachadas aeradas (suspensas por pinos) deve-se tomar muita atenção com os cálculos de espessuras mínimas, devido aos seus valores mais reduzidos quando submetidos a ações conjuntas de compressão e tração.

Desgaste Abrasivo Amsler

Para um entendimento mais amplo, os valores da resistência ao desgaste foram correlacionados com o teor de quartzo definidos na petrografia. Estas correlações estão representadas graficamente na figura 4.

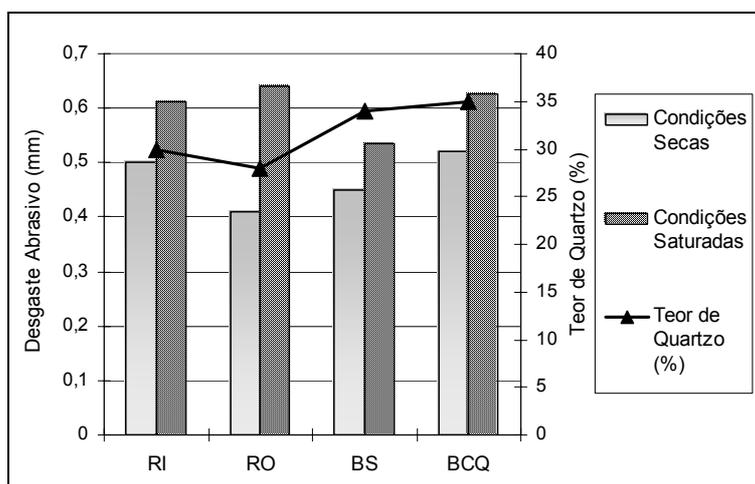


Figura 4 – Relação entre o desgaste abrasivo e respectiva porcentagem de quartzo para os quatro tipos graníticos sob condições secas e saturadas. Leg.: RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana, BCQ: Branco Cristal Quartzo.

Os resultados dos ensaios revelam números abaixo dos limites máximos aceitáveis de padrões de qualidade para os quatro tipos graníticos e apresentam valores relativamente díspares entre si. A figura 4 revela que os granitos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo exibem, no estado seco, desgaste abrasivo mais acentuado, o que estaria relacionado aos maiores índices de minerais de alteração (clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido de ferro) e de feldspatos presentes no Rosa Iracema. O granito Branco Cristal Quartzo mostra, ainda, suas superfícies polidas salpicadas por pequenas manchas avermelhadas dadas por

óxidos/hidróxidos de ferro, o que indica início de efeitos intempéricos iniciais sobre suas superfícies analisadas. Os granitos Branco Savana e Rosa Olinda mostraram-se mais resistentes ao atrito devido ao grau de alterabilidade relativamente menor nestes granitos, além do elevado teor de quartzo no Branco Savana. O menor desgaste do Rosa Olinda, apesar de sua textura porfiróide, deve-se provavelmente a sua maior coesão caracterizada pelo seu melhor engrenamento mineral, menores grau de microfissuramento e de alteração mineral em relação aos demais granitos.

Em termos gerais, os resultados indicam que o desgaste para os granitos da Serra do Barriga não diferem muito entre si no estado seco. Entretanto, para as amostras saturadas em água os valores variam entre 0,84 e 0,62mm, cuja disparidade ocorre no granito Rosa Iracema, com desgaste mais elevado.

A saturação das rochas de modo geral impõe menor resistência à abrasão e está associada à porosidade e permeabilidade destas. O Rosa Iracema e o Rosa Olinda apresentam queda de 20% na resistência à abrasão após a saturação em água, visto que são rochas com maiores proporções de micas que, por terem hábito placóide, podem quando saturadas reduzir a resistência à abrasão destas rochas. Nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) a redução da resistência à abrasão está em 17% e 16%, respectivamente.

Como o valor do desgaste abrasivo possui uma relação inversamente proporcional ao teor de quartzo e direta para feldspato, esta relação apresenta-se coerente para os quatro tipos graníticos aqui analisados, como representado no gráfico da figura 4. Os resultados dos ensaios de desgaste por atrito indicam que o fácies mais resistente é o Branco Savana tanto sob condições secas e quanto saturadas. Isto se deve à sua granulação que varia entre média a grossa, portanto mais fina que nos demais tipos estudados, bem como pelo seu teor relativamente alto de quartzo. O tipo Branco Cristal Quartzo, embora possua maior teor de quartzo, apresenta também uma quantidade mais elevada de minerais de alteração como mica branca, sericita, carbonatos e argilo-minerais, e discretos sinais de efeitos intempéricos denotados pela presença de pontos avermelhados oriundos da oxidação do ferro, que no conjunto reduzem de forma geral a dureza da rocha.

O granito Rosa Iracema possui em torno de 60% de feldspatos (potássico e plagioclásio), 6% de biotita e 2% de minerais de alteração (clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido de ferro) o que justifica o maior desgaste desta rocha. Além disto, a granulação dos feldspatos atinge tamanhos

de até 40 mm. O granito Rosa Olinda embora possua 58% de feldspato, dos quais 20% são fenocristais de feldspato potássico, mostra maior entrelaçamento e menor grau de alteração mineral, que poderá imprimir uma maior resistência à abrasão, comparada ao granito Branco Savana.

Pode-se considerar que todos os quatro tipos graníticos são excelentes para o uso como revestimento em pisos de alto tráfego, mesmo quando saturadas em água estas rochas apresentam pequena redução da resistência à abrasão, visto que o maior valor de abrasão encontrado está 56% acima do limite sugerido para as rochas graníticas, o que permite considerá-las como granitos adequados também para o uso em ambientes exteriores de alto tráfego.

Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência ao impacto dos quatro tipos graníticos encontram-se na tabela 2. Para um melhor entendimento do comportamento das amostras ensaiadas, os valores da resistência ao impacto foram correlacionados com o índice de microfissuras/mm² apresentados pelas respectivas rochas, representados na figura 5.

Os quatro tipos graníticos analisados apresentam valores mínimos e máximos de resistência ao impacto entre 23 e 38% acima do limite mínimo sugerido por Frazão & Farjallat (1995). De modo geral os resultados exibidos pelos granitos ensaiados não apresentam grande disparidade entre si, com variações máximas de 20%. As maiores resistências pertencem aos granitos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo, e a menor ao granito Rosa Olinda.

Com exceção do tipo granítico Rosa Iracema, que teve sua resistência ao impacto reduzida em torno de 14% após sofrer saturação em água, os demais não evidenciaram maiores diferenças entre condições seca e saturada. Apesar do enfraquecimento do granito Rosa Iracema causado pela saturação, a sua resistência permaneceu 23% acima dos valores considerados aceitáveis. Destaca-se que o enfraquecimento hidráulico deste granito com

relação a resistência à compressão uniaxial se dá praticamente na mesma proporção, ou seja, ao redor de 16%. Este comportamento apresentado pelo granito pode estar relacionado com seus índices de porosidade, absorção d'água e grau de microfissuramento, considerados relativamente elevados neste tipo petrográfico. Também a sua composição mineralógica, rica em feldspatos (potássico e plagioclásio) e em biotita, minerais estes com alteração moderada, materializada por argilominerais, óxidos/ hidróxidos de ferro, sericita e mica branca, sob saturação em água poderia tornar a rocha mais branda.

A resistência da rocha ao impacto está diretamente associada às suas propriedades petrográficas. Assim, os tipos graníticos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo, os quais apesar de apresentarem texturas inequigranulares grossa, se caracterizam por um bom grau de entrelaçamento mineral representados por contatos minerais imbricados, presença de grãos de quartzo intersticial com feições de dissolução e de feldspatos com bordas irregulares por efeitos de corrosão magmática responsáveis por evidente engrenamento com os demais minerais.

A menor absorção e porosidade e maior resistência à compressão uniaxial registradas no granito Branco Cristal Quartzo são parâmetros que podem contribuir para uma maior resistência ao fraturamento por impacto.

O grau de microfissuramento é outro parâmetro que gera grande influência nos resultados destes ensaios. Corroborando com esta premissa, o granito Branco Savana, que exibe o maior número de microfissuras por milímetro quadrado, apresenta a segunda menor resistência ao impacto. O granito Rosa Olinda com a menor resistência, apresenta a maior porcentagem de microfissuras do tipo intergãos (médias e longas), entre os quatro granitos. Este granito possui ainda, textura porfírica com cerca de 20% de fenocristais de feldspato potássico, com uma energia de crescimento muito baixa. Quando este mineral se desenvolve em grandes tamanhos, apresenta uma estrutura cristalina mais aberta, com maclas, perfitas e descontinuidades físicas. Além disso, a maior porcentagem de fenocristais lhe confere maior incidência de contatos planos (em torno de 23%). Todos estes fatores somados imprimem maior fragilidade à rocha que induz a maior probabilidade de quebra da placa.

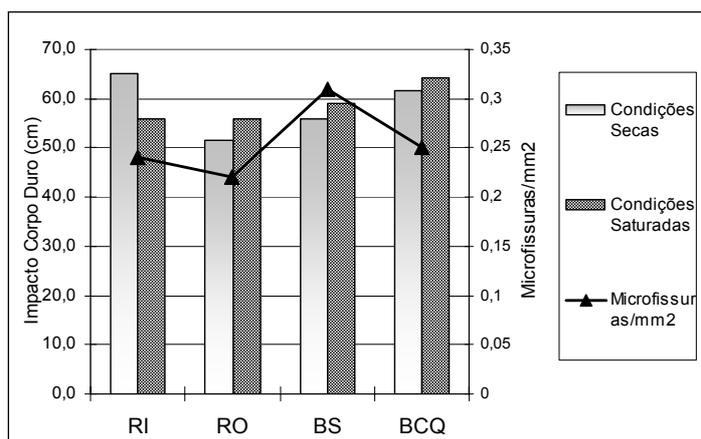


Figura 5 – Resistência ao impacto de corpo duro e grau de microfissuramento dos quatro tipos graníticos sob condições secas e saturadas. Legenda: RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana, BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Os resultados obtidos permitem considerar que todos os quatro tipos graníticos são adequados para o uso como revestimento tanto em pavimentos normais

como suspensos, podendo ainda ser utilizados como mesas, bancadas, pias e outros tipos de aplicações com possíveis atividades de impacto brusco. São

considerados granitos de excelente qualidade, com resistência ao impacto entre 23 a 38% acima do limite determinado. A influência da saturação não gera queda na resistência abaixo deste intervalo.

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear

A determinação da dilatação térmica linear está fundamentada na variação de volume que a rocha sofre quando submetida às oscilações de temperatura. A medida é feita de forma linear e expressa através do coeficiente de dilatação térmica (α), utilizado para cálculos no dimensionamento das juntas de dilatação de placas, painéis e ladrilhos de rochas ornamentais, interferindo, inclusive na escolha do processo de ancoragem das placas.

Castro Lima (2002) considera que a dilatação térmica é um dos fatores de deterioração da rocha mais influentes. Por se tratarem de materiais com baixa condutividade térmica, as rochas sofrem alteração térmica mais intensa na superfície que no interior, desenvolvendo tensões diversas que provocam fendilhamentos. Sabe-se que a dilatação térmica linear decresce com o aumento da porosidade, pois espaços vazios entre os minerais conduzem à redução do módulo de elasticidade.

Os dados de dilatação térmica obtidos foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas determinadas em corpos-de-prova no estado saturado antes e após os ensaios de dilatação nas mesmas amostras e estão esquematizados na figura 6.

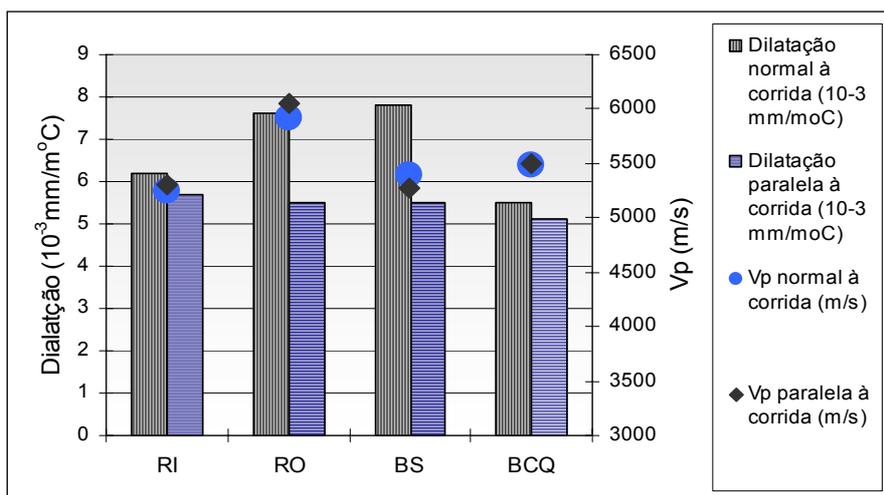


Figura 6 – Dilatação térmica linear dos quatro tipos de granitos ornamentais da Serra do Barriga correlacionado com valores de velocidade de pulso ultra-sônico segundo direções perpendiculares e paralelas à corrida da rocha após o ensaio de dilatação. Legenda: RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana, BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Os resultados de dilatação térmica linear nas amostras apresentam os maiores valores, e certa variação, ao longo do sentido normal à corrida da rocha (entre $7,8$ a $5,5 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$), e se mantém praticamente constantes segundo os planos paralelos à corrida da rocha (entre $5,7$ e $5,5 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$). As diferenças dos valores dos coeficientes de dilatação térmica linear entre os planos normais e paralelos à corrida para os granitos Rosa Iracema, Rosa Olinda e Branco Savana, indicam a existência de certa anisotropia destas rochas. Esta diferença entre os valores do coeficiente de dilatação normais e paralelos à corrida da rocha, mais expressiva para os granitos Rosa Olinda e Branco Savana, deve refletir uma discreta tendência preferencial na orientação dos cristais de quartzo, já que este mineral apresenta uma dilatação cerca de 50% superior segundo seu eixo cristalográfico *c* em relação ao *a*.

Comparando-se os valores de coeficiente de dilatação térmica para rochas graníticas disponíveis na literatura, entre 6 e $9 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$, com os coeficientes obtidos nos quatro tipos graníticos pode-se deduzir que o tipo Branco Cristal Quartzo apresenta valores consideravelmente baixos, provavelmente devido a sua natureza estrutural isotrópica, situação em que os cristais de quartzo exibem orientação caótica, bem como pelo grau de alteração dos feldspatos, entre moderado a alto, que geram cerca 2,5% do volume da rocha em minerais secundários como sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro.

Os valores mais baixos ($6,2$ e $5,7 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$) fornecidos pelo granito Rosa Iracema, quando comparados aos valores dos granitos Rosa Olinda e Branco Savana, pode refletir o seu menor teor em quartzo e à presença de grandes cristais de microclínio que com cerca de 40 mm ao longo de seu maior eixo, com evidentes planos de clivagens relativamente abertos e, por vezes, com moderada transformação parcial para argilominerais e sericita.

O coeficiente de $7,8 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$ obtidos no granito Branco Savana pode ser considerado elevado em relação às demais amostras ensaiadas, mas está dentro dos índices apresentados para outros granitos brasileiros descritos na literatura. Este valor pode estar relacionado ao seu maior teor de quartzo em relação aos granitos rosas com incremento em torno de 7%, além de apresentar granulação relativamente menor e não exibir grandes efeitos de alterações minerais, quando comparado com o granito Branco Cristal Quartzo. Por sua vez, este apresenta granulação mais grosseira que o Branco Savana, além de exibir pontos de oxidação mais evidentes e cristais de microclínio mais desenvolvidos.

Os granitos da Serra do Barriga, por apresentarem valores bastante inferiores ao valor máximo de $12,0 \times 10^{-3} \text{mm/m}^\circ\text{C}$ sugerido por Frazão & Farjallat (1995), representam rochas com coeficiente de dilatação térmica linear satisfatórios e podem ser considerados como granitos de excelente qualidade com variações aceitáveis e normais entre as direções das rochas analisadas. Neste contexto pode-se recomendar a sua aplicação a revestimentos de paredes e de pisos de interiores e exteriores, mesmo em ambientes com grandes amplitudes térmicas.

Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas está diretamente associada com a anisotropia, grau de sanidade e coesão dos minerais, desenvolvendo desta forma, em um importante índice para qualificação e avaliação do comportamento físico-mecânico das rochas.

A velocidade com que as ondas atravessam um corpo rochoso pode variar de acordo com a composição mineralógica, textura da rocha, anisotropia estrutural da rocha, tamanho e morfologia dos grãos, do conteúdo dos fluidos e da presença de vazios. Esta correlação permite avaliar indiretamente vários parâmetros físicos e mecânicos das rochas, tais como densidade, resistências

mecânicas, porosidade, absorção d'água, grau de alteração, entre outros.

Diversos estudos de alteração e alterabilidade em rochas vêm sendo realizados com a utilização de ondas ultra-sônicas, como o de Dearman *et al* (1987) sobre alteração hidrotermal em um corpo rochoso com diferentes respostas de acordo com o grau de alteração do corpo litológico.

Todas os quatro tipos graníticos estudados mostram velocidades maiores nas amostras saturadas (com 15 a 25% acima) em relação às amostras secas. Este aumento ocorre porque a amostra submetida à saturação em água por mais de 24 horas passa a ter seus poros e espaços vazios preenchidos por água, acelerando a velocidade de propagação de ondas, o que não significa maior integridade da rocha.

Os maiores valores obtidos nas amostras analisadas (Rosa Olinda) superam em cerca de 16% em relação aos menores (Branco Cristal Quartzo). Esta diferença, apesar de discreta, revela certa heterogeneidade entre os quatro tipos graníticos constituintes do *stock* Serra do Barriga. Os granitos rosas (Olinda e Iracema) apresentam maiores velocidades de propagação de ondas, refletindo suas maiores massas específicas resultantes da composição mineralógica mais rica em minerais máficos como biotita, clorita, allanita e titanita. Enquanto que as menores velocidades de propagação encontradas nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) estão associadas, além da massa específica menor, também pela maior proporção de quartzo e minerais de alteração, como micas, sericita e argilominerais, sobretudo com relação ao Branco Cristal Quartzo.

No granito Branco Savana, o seu estado microfissural maior não gera influência sobre a velocidade de propagação de ondas. Além disto, este granito mostra uma textura mais fina e homogênea em comparação ao tipo Branco Cristal Quartzo, que por sua vez,

apresenta a menor velocidade, o que pode estar relacionado à sua composição mineralógica representada por cerca 35% de quartzo e 2,5% de minerais de alteração como clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonato (tabela 1), tornando o trajeto do pulso ultra-sônico mais lento.

Os granitos da Serra do Barriga por apresentaram valores relativamente homogêneos entre si, mostram de modo geral um reduzido grau de alteração e boa integridade física, sobretudo os granitos rosas Olinda e Iracema. Todas as amostras dos quatro tipos graníticos apresentaram valores acima dos limites especificados por Frazão & Farjallat (1995) (\square 4000 m/s). Os valores de velocidade obtidos para os granitos estudados permitem posicioná-los muito próximos da média das rochas brasileiras sugeridos por Frazão & Farjallat (1995).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos nos ensaios realizados, todos os quatro tipos graníticos ornamentais do *stock* Serra do Barriga são recomendados para serem utilizados como revestimentos tanto em ambientes de interiores quanto de exteriores. Porém, deve-se ter um cuidado maior na definição das espessuras das placas quando aplicadas em fachadas suspensas, especialmente nos tipos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo, pois apresentaram valores de flexão pelo método 3 pontos no limite ou abaixo dos índices máximos sugeridos pela ASTM (1992) e Frazão e Farjallat (1995). Dos granitos estudados, os tipos com melhor desempenho para aplicação como revestimento em fachadas de edifícios são os granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema, devido aos seus índices de resistência à flexão e pelos seus respectivos coeficientes de dilatação térmica linear.

O granito Branco Savana apresenta menor massa específica, maior absorção e porosidade e conseqüentemente menor

resistência à flexão, porém não possui menor resistência à compressão. Isto evidencia que a correlação entre os índices físicos e os resultados dos ensaios mecânicos nem sempre é direta e neste granito ocorre em função da composição mineralógica, caracterizada pela presença mais elevada em minerais de alteração (mica branca; argilominerais; óxidos e hidróxidos de ferro) e do grau de fissuramento cerca de 30% superior em relação ao tipo menos fraturado, o que é corroborado pela menor velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas por ele exibida.

Como mostrado nas figuras 2 e 3, os granitos rosas são mais resistentes à flexão, enquanto que os brancos são mais resistentes à compressão. Não há uma correlação direta entre os valores de compressão e de flexões para as rochas estudadas, como ocorre em rochas homogêneas, equigranulares, de granulção média a fina. Este fato reflete a heterogeneidade das rochas ensaiadas que são grosseiras e inequigranulares, com porções megaporfíricas, incluindo ainda a ocorrência de minerais de alterações pós-magmáticos nos granitos brancos.

De acordo com Artur *et al.* (2001), algumas correlações entre dados petrográficos e valores físico-mecânicos são diretas e evidentes. Inclui-se nesta categoria o grau de microfissuramento em relação às porcentagens de porosidade e absorção d'água das rochas e a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas que se propagam mais rapidamente em rochas menos alteradas, com maior massa específica e melhor entrelaçamento entre os grãos minerais. Outra correlação importante neste trabalho foi a resistência ao desgaste abrasivo com a concentração de quartzo na rocha. Foi possível também a inter-relação do índice de coloração das rochas com a massa específica aparente, pois a densidade da rocha é

diretamente proporcional ao índice de minerais máficos presentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, através do processo nº 141388/2002-1 (Bolsa de Formação de Pesquisador Doutorado), que tornou possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMERICAN SOCIETY for Testing and Materials. **ASTM - C 615**. Standard Specification for Granite Dimension Stone. Philadelphia, USA.1992:

ARTUR, A.C.; Meyer, A. P.; Wernick, E. Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: A Influência da Mineralogia, Textura e Estrutura da Rocha. Dados Comparativos e Implicações de Utilização. In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais 1/ Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2, Salvador. **Anais...Salvador: Museu Geológico da Bahia, 2001, P 13 -14.**

CASTRO LIMA, **Estudo Da Dilatação Térmica De Rocha Usada Em Revestimento De Edificações**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) 2002. 121 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

DEARMAN, W.R.; Turk, N. Rowshanei, H. Detection of Rock Material Variation by Sonic Velocity. **Bulletin of the International Association of Eng. Geologists**, Paris, N. 35, P. 3-8, 1987.

FRAZÃO, E. B. & Farjallat, J. E. S. Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras usadas como Pedras de Revestimento. In: Congresso Internacional de Pedra Natural, 1., 1995, Lisboa. **Anais... Lisboa: 1995, P.47-58.**

ISRM – International Society of Rock Mechanics. Suggested Methods For The Determining The Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rocks Materials. **International Journal of Rock Mechanics**, Nova York, V. 16, Abstract, 1979.

MATTOS, I. C.; Artur, A. C.; Nogueira Neto, J. A. Caracterização Físico-Mecânica do Granito Ornamental Serra do Barriga, Sobral/CE: Result. Preliminares. In: Simp. de Rochas Ornamentais do Nordeste, 4.,2003, Fortaleza. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003, P. 86-93.

MESQUITA, M. P. S. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. 2002. 171f. Tese (Doutorado em Geologia Regional). IGCE, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002.

MEYER, A. P. **A Influência da Petrografia no Comportamento Tecnológico de Rochas Ornamentais do Cplexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG)**. 2003. 117f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CALCÁRIOS DO CARIRI DO CEARÁ

Julio Cesar G. Correia¹, Francisco W. Hollanda Vidal¹ e Roberto Carlos da C. Ribeiro¹

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa - CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – Avenida Ipê, 900 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – CEP 21941.590 - Rio de Janeiro – RJ
Tel. (21). 3865.7276 - e-mail: jguedes@cetem.gov.br

RESUMO

Este trabalho se constitui em uma atividade inserida no projeto “Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do Calcário Cariri”, apresentado à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGMTM), do Ministério de Minas Energia (MME), com o aporte da Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará – SECITECE, dentro do Convênio de Cooperação Técnico-Científico entre Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) e SECITECE, formam esse APL os municípios de Nova Olinda, Santana do Cariri, Farias Brito e Altaneira. Esses municípios foram escolhidos por possuírem um grande potencial mineral de dois tipos de calcário: o sedimentar laminado, também conhecido como Pedra Cariri; e o cristalino, utilizado de forma rudimentar na fabricação da cal virgem e hidratada.

Foram estudadas amostras representativas do calcário laminado (Pedra Cariri) e do calcário cristalino que eram compostas de incrementos coletados por técnicos do CETEM, da Companhia de Desenvolvimento do Ceará (CODECE) e da Universidade Regional do Cariri (URCA), contando com o apoio logístico dos produtores locais. As amostras foram enviadas para o CETEM, onde foi realizada a caracterização tecnológica, envolvendo análise granulométrica, análises químicas dos compostos presentes e análises mineralógicas.

As amostras dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri apresentaram teores médios de CaO, em torno de 54% e de

Fe₂O₃ baixo, mostrando-se a princípio boa para vários usos, enquanto que as médias dos teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ são baixas, mas podem ser melhoradas. Quanto a região dos municípios de Altaneira e Farias Brito, apresentaram valores mais baixos para os teores de CaO, entre 44% e 46%, com teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ maiores em relação a Santana do Cariri e Nova Olinda e teores de Fe₂O₃ mais baixos.

INTRODUÇÃO

A região do Cariri cearense se apresenta como um importante polo mineral, no que tange a sua rica reserva de calcário laminado, que segundo dados do DNPM possui cerca de 97 milhões de metros cúbicos, equivalentes a 241 milhões de toneladas, e abrange principalmente os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda. A utilização desses calcários é feita sob a forma de lajes e utilizadas principalmente em pisos, enquanto que o calcário cristalino dos municípios de Altaneira e Farias Brito, são utilizados mais na indústria da cal. A cadeia produtiva da Pedra Cariri, que vai da lavra ao beneficiamento (esquadrejamento) acarreta uma perda de material em torno de 70%. Este trabalho apresenta alguns aspectos da caracterização tecnológica destes calcários, e em uma etapa posterior, com todos os resultados mapeados, pretende-se sugerir algumas formas de utilização que possibilitem o seu aproveitamento racional.

Inicialmente foi observada que a etapa inicial de lavra na região do Cariri, é realizada pela maioria dos produtores, sem nenhuma mecanização. Depois dessa etapa, as placas de calcário desmontadas e selecionadas são transportadas para as unidades de corte, onde são esquadrejadas em dimensões compatíveis com o mercado consumidor. As operações da cadeia produtiva, que vai da lavra ao processamento (esquadramento) acarretam em uma perda de material de cerca de 70%, ainda que já existam algumas poucas empresas que apresentam uma lavra semi-mecanizada mais eficiente.

O calcário sedimentar do Cariri, localizado na Chapada do Araripe, situada no sul do Estado cearense, é formado essencialmente de carbonato de cálcio, sendo utilizada na indústria de rochas ornamentais em formas de lajota conhecida comercialmente como Pedra Cariri.

A lavra da Pedra Cariri é desenvolvida atualmente de forma aleatória, resultando em um plano de aproveitamento com baixas taxas de recuperação, sendo a mesma desenvolvida em sua grande maioria, com métodos rudimentares. Enquanto que o calcário cristalino da região dos municípios de Altaneira e Farias Brito é extraído e processado em fornos tipo caieiras em sua grande maioria utilizados na indústria de cal.

No entanto, em algumas pedreiras, essa lavra é conduzida de forma semi-mecanizada, através da utilização de máquinas de corte móveis, acionadas por eletricidade, com disco diamantado. O diâmetro do disco varia de 350 mm a 500 mm, permitindo um corte com profundidade em placas de calcário não ultrapassando a espessura de 18cm. Depois desta etapa, as placas são selecionadas manualmente e transportadas para o beneficiamento nas serrarias, onde são esquadrejadas em dimensões compatíveis a sua aplicação, geralmente se enquadrando nas seguintes especificações 40 X 40 cm, 50 X 50 cm, 30 X 30 cm, 20 X 20cm e 15 X 30 cm ou em barras. Essa atividade gera, nas frentes de lavra, uma

grande quantidade de rejeitos que impactam o meio-ambiente, por formar entulhos, fechar drenagens, obstruir riachos, bem como gerando um impacto visual desagradável. Se estima que a perda na lavra, com a operação manual, alcança a 90% se contabilizado o grande volume de material de cobertura ou volumes superficiais sem qualidade para atender ao uso como revestimento. Com a utilização da máquina com disco diamantado, se reduz consideravelmente, para cerca de 60%, essa perda.

OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- Estudar preliminarmente de forma sistemática os depósitos e rejeitos de calcários visando a sua aplicação em diversas indústrias consumidoras desse bem mineral. Para isso, se tomou como base os ensaios de caracterização tecnológica realizados;
- Caracterização das amostras de calcário e sua provável utilização em vista das especificações de mercado estabelecidas; e
- Repassar os resultados aos interessados locais.

METODOLOGIA E RESULTADOS

O trabalho foi desenvolvido obedecendo as seguintes etapas:

Seleção de Áreas e Cubagem

As áreas para amostragem foram selecionadas com base nos trabalhos de campos "in loco", que foram realizados nos municípios de Nova Olinda, Santana do Cariri, Altaneira e Farias Brito da seguinte maneira:

- Levantamento de campo, nas principais frentes de lavra, que geram maiores quantidades de rejeitos;
- caracterização dos rejeitos destas frentes; e
- análises dos métodos de extração.

Nestas frentes de lavra foram observadas as questões relacionadas ao minério; produção da pedra; beneficiamento; especificações técnicas de cava; e produtos gerados.

Amostragem

O trabalho de amostragem contou com o apoio logístico dos produtores locais e foi executado da forma mais criteriosa possível, pelos técnicos do MCT, da CODECE e da URCA. Em todas as amostras coletadas, se teve o cuidado de não destruir nenhum exemplar de fóssil, que porventura estivesse presente nas amostras. Ao todo foram coletadas dez amostras da região do Cariri.

Preparação das amostras

No laboratório do CETEM cada amostra foi fragmentada, em 1,68mm, e a seguir homogeneizada mediante sucessivas pilhas cônicas e triangulares. As amostras foram fragmentadas em duas práticas, britagem primária e secundária, utilizando se para tal de britadores de mandíbulas. O produto da britagem secundária foi classificado em 1,68 mm em uma peneira vibratória. O material retido, foi a seguir fragmentado em britador de rolos.

Logo após as amostras totais foram homogeneizadas em um homogeneizador tipo Y e se confeccionou a seguir uma pilha longitudinal. Após a realização da pilha, foram retiradas duas sub-amostras, sendo uma para caracterização mineralógica da “head sample” e outra, com a qual realizamos a análise granulométrica, o restante da pilha foi arquivado.

Caracterização das amostras

Tendo em vista a grande quantidade de frentes de lavra, se estudou, preliminarmente, as amostras retiradas, seguindo as próprias características geológicas da região. Depois, de posse das primeiras informações das características tecnológicas, serão realizadas outras campanhas de amostragem com o objetivo de um estudo mais amplo de caracterização. Nesta etapa, também foi realizado o estudo comparativo do resultado da caracterização das amostras analisadas, com as especificações exigidas pelo mercado consumidor, ou seja: em quais aplicações industriais que cada tipo de calcário amostrado, poderia ser utilizado “in natura”, e quais os tipos mais indicados para beneficiamento. A análise granulométrica foi realizada à úmido, utilizando as seguintes peneiras: 1,19 mm, 0,841 mm, 0,595 mm, 0,420 mm, 0,297 mm, 0,210 mm, 0,149 mm, 0,105 mm, 0,074 mm, 0,053 mm, 0,044 mm e 0,037 mm.

Inicialmente foi dado um corte em 0,210 mm, a fração retida foi passada nas peneiras de 1,19 mm a 0,297 mm, sendo que a fração passante em 0,210 mm, foi passada nas peneiras 0,149 mm, 0,105 mm e 0,074 mm, a fração passante em 0,074 mm foi passada nas peneiras 0,053 mm, 0,044 mm e 0,037 mm. Todas as frações foram enviadas para o laboratório de análise química do CETEM para se obter os teores de CaO, MgO e Fe₂O₃. Sendo que as amostras médias, por fração, que representam incrementos de diversas pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri têm seus resultados de CaO e MgO analisados, por fração e podem ser observados nas Tabela I e II, respectivamente abaixo.

TABELA I – Resultados da distribuição de CaO e MgO contidos em cada fração da amostra média do município de Nova Olinda.

Fração (mm)	Massa (%)	Teor (%)		CaO distr. (%)	MgO distr. (%)
		CaO	MgO		
- 1,68	27,38	52,9	0,87	27,76	23,03
- 1,19	16,46	51,3	1,00	16,17	15,92
- 0,841	8,39	52,8	1,10	8,48	8,93
- 0,595	8,20	51,6	1,10	8,11	8,72
- 0,420	6,34	53,6	1,20	6,51	7,36
- 0,297	3,45	54,2	1,30	3,58	4,33
- 0,210	2,77	53,2	1,30	2,82	3,48
- 0,149	2,39	52,1	1,50	2,38	3,46
- 0,105	1,52	52,0	1,60	1,51	2,35
- 0,074	0,64	51,2	1,60	0,63	1,00
- 0,053	0,66	52,6	1,50	0,67	0,96
- 0,044	0,42	50,6	1,50	0,40	0,61
- 0,037	21,38	51,2	0,96	20,98	19,85
TOTAL	100,00	52,2	1,03	100,00	100,00

TABELA II – Resultados da distribuição de CaO e MgO contidos em cada fração da amostra média do município de Santana do Cariri.

Fração (mm)	Massa (%)	Teor (%)		CaO distr. (%)	MgO distr. (%)
		CaO	MgO		
- 1,68	11,02	53,1	0,73	11,22	10,72
- 1,19	21,81	54,1	0,73	22,62	21,22
- 0,841	11,84	50,8	0,70	11,53	11,05
- 0,595	12,70	50,4	0,71	12,27	12,02
- 0,420	5,21	51,3	0,74	5,12	5,14
- 0,297	3,99	51,7	0,73	3,95	3,88
- 0,210	3,72	50,3	0,74	3,59	3,67
- 0,149	2,51	47,9	0,74	2,30	2,48
- 0,105	1,85	49,4	0,74	1,75	1,83
- 0,074	0,70	47,3	0,77	0,63	0,72
- 0,053	0,52	50,9	0,86	0,51	0,60
- 0,044	0,56	51,4	0,82	0,56	0,60
- 0,037	23,57	53,0	0,83	23,95	26,07
TOTAL	100,00	52,2	0,75	100,00	100,00

A Tabela III e IV, apresentam os resultados da distribuição de CaO e MgO contidos em cada fração das amostras médias, respectivamente para os municípios de Altaneira e Farias Brito

TABELA III – Resultados da distribuição de CaO e MgO contidos em cada fração da amostra média do município de Altaneira.

Fração (mm)	Massa (%)	Teor (%)		CaO distr. (%)	MgO distr. (%)
		CaO	MgO		
- 1,68	20,20	45,2	6,78	20,60	20,01
- 1,19	16,66	45,1	6,82	16,17	16,60
- 0,841	10,56	45,4	6,29	8,48	9,71
- 0,595	7,56	45,7	5,86	8,11	6,47
- 0,420	6,67	45,4	5,74	6,51	5,59
- 0,297	5,62	44,7	6,27	3,58	5,15
- 0,210	5,38	42,5	8,02	2,82	6,30
- 0,149	6,43	47,3	3,43	2,38	3,22
- 0,105	4,23	40,6	10,10	1,51	6,25
- 0,074	3,17	41,3	9,53	0,63	4,41
- 0,053	2,16	41,4	9,17	0,67	2,89
- 0,044	1,36	41,7	8,65	0,40	1,72
- 0,037	10,03	40,7	7,97	20,98	11,68
TOTAL	100,00	44,32	6,84	100,00	100,00

TABELA IV – Resultados da distribuição de CaO e MgO contidos em cada fração da amostra média do município de Farias Brito.

Fração (mm)	Massa (%)	Teor (%)		CaO distr. (%)	MgO distr. (%)
		CaO	MgO		
- 1,68	15,47	49,6	3,78	16,60	9,96
- 1,19	12,97	41,5	10,05	11,65	22,22
- 0,841	8,29	49,8	3,21	8,93	4,53
- 0,595	6,14	50,4	2,98	6,69	3,12
- 0,420	5,21	49,1	2,94	5,53	2,61
- 0,297	4,53	49,0	4,07	4,80	3,14
- 0,210	6,25	43,1	7,55	5,83	8,05
- 0,149	10,55	40,8	9,50	9,31	17,07
- 0,105	7,85	41,4	10,33	7,04	13,82
- 0,074	5,05	44,7	7,73	4,89	6,66
- 0,053	3,18	45,2	4,97	3,11	2,70
- 0,044	1,81	48,6	3,60	1,91	1,11
- 0,037	12,70	49,8	2,32	13,69	5,02
TOTAL	100,00	46,20	5,87	100,00	100,00

Os resultados das análises químicas das amostras médias de “head sample” das pedreiras de Nova Olinda, Santana do Cariri, Altaneira e Farias Brito estão apresentados na Tabela V, abaixo.

TABELA V – Resultados das análises químicas médias das amostras “head sample” dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito.

AMOSTRA	P.F. (*)	Teor (%)										
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	K ₂ O	SO ₃	SrO	MnO	P ₂ O ₅
Nova Olinda	42,5	53,9	0,78	1,16	0,27	0,81	0,027	0,041	0,046	0,069	0,19	0,045
Santana do Cariri	43,3	54,0	0,88	0,44	0,089	0,49	0,019	0,024	0,146	0,071	0,18	0,058
Altaneira	41,9	44,3	6,84	4,36	0,281	0,302	-	0,112	-	0,312	0,010	-
Farias Brito	42,0	46,2	5,87	2,26	0,287	0,312	-	0,085	-	0,272	0,010	-

(*) Perda por calcinação

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Apesar da inexistência de uma padronização internacional das especificações do calcário, a maioria dos consumidores faz exigências quanto a qualidade do calcário recebida, em função da aplicação a que se destina. Os resultados da caracterização tecnológica realizada, quando comparados aos padrões exigidos para uso de materiais calcínicos na indústria (Tabela VI), indicam que o material disponível poderia ser utilizado na maioria das aplicações apresentadas. Entretanto, ensaios tecnológicos específicos devem ser realizados para permitir a confirmação desta hipótese. Com tudo isso, se pode, tomando como base as amostras das “head sample” estudadas, discutir uma avaliação preliminar de aplicações para os rejeitos da Pedra Cariri.

O teor médio de 54,0% de CaO, para as amostras de Nova Olinda e Santana do Cariri é em princípio, boa para várias especificações, entretanto a média dos teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ são baixos, mas podem ser blendados com outros compostos para obter se um valor mais alto, enquanto que o valor médio de Fe₂O₃ é baixo.

Quanto a região dos municípios de Altaneira e Farias Brito, valores mais baixos para os teores de CaO, entre 44% e 46%, apresentando teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ maiores em relação a Santana do Cariri e Nova Olinda e teores de Fe₂O₃ mais baixos.

Uma das aplicações que prevemos ser promissora é a da obtenção de carbonato de cálcio precipitado (PCC), que é normalmente obtido por meio da hidratação da cal (CaO), se obtendo um produto denominado leite de cal (Ca(OH)₂). Logo após, é feita a carbonatação (CO₂) do leite de cal, se obtendo um produto que pode ser aragonita ou calcita. A rocha calcária, em nosso caso, a Pedra Cariri, que mediante a calcinação dá origem a cal, não necessita inicialmente de uma alvura natural elevada (até 80%, ISO), no entanto deve apresentar uma boa pureza química, ou seja, deve ser isenta de minerais multivalentes, como manganês e ferro, responsáveis diretos pela redução da alvura.

TABELA VI – Padrões qualitativos para utilização industrial de Minérios Carbonáticos Calcíticos

Produto	Teor Máximo (%)							Teor Mínimo (%)		
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O+Na ₂ O	CaO	P.F.	Observações
Cimento Portland	4.5	13.0	-	7.0	0.37	1.7	0.45	42.0	ND	Padrões muito variáveis
Cimento branco	4.5	13.0	ND	0.001	0.37	ND	0.45	42.0	ND	
Brita Siderúrgica (Metalúrgica Fe)	2.5	6.0	-	2.5	0.01-1.5	1.25	0.03	50.0	43.0	Variação conforme o processo siderúrgico
Brita Siderúrgica Ligas FeMn/FeCr	1.0	2.5-5.0	-	3.0	2.2	ND	0.12	50.0	43.0	Variações conforme o processo siderúrgico
Cal calcítica	1.4	1.0-2.0	1.0	0.5	ND	ND	ND	53.0	42.0	Padrão standard (USA)
Cal calcítica (qualidade superior)	1.4	1.0	0.5	0.15	ND	ND	ND	54.0	43.0	Padrão médio para utilizações nobres
Carbureto de cálcio	1.2	1.2	1.0	0.5	0.04-0.23	0.25-0.50	ND	54.0	43.0	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ S1.0%
CaCO ₃ ppt médio (pcc)	2.4	1.3	ND	0.05	ND	ND	ND	50.0	ND	99.5% < 250 mesh
CaCO ₂ ppt superior (pcc)	2.0	1.0	ND	0.02	ND	ND	ND	53.0	ND	100% < 325 mesh
Cerâmica branca	1.5	2.0	ND	0.3	ND	0.1	ND	53.0	42.0	ASTM (USA)
Cerâmica branca	4.0	5.0	ND	0.3	ND	ND	ND	45.0	35.0	IASA (Recife-PE)
Refino de açúcar	1.7	1.7	0	5.0	ND	ND	ND	48.0-50.0	ND	Padrões muito variáveis
Indústria de papel	1.5	ND	1.0	7.0	ND	ND	ND	51.8	ND	USBS (USA)
Vidros comuns	1.5	5.0	2.8	0.5	0	6.0	ND	51.0	40.0	CaO+MgO;USBS(USA)
Vidros especiais	0.8	1.5-2.0	0.25	0.02	ND	ND	ND	53.0	42.0	Sta. Marina – SP
Vidros comuns	3.0	3.0-6.0	2.0	0.5	ND	ND	ND	50.0	36.0	CIV (Recife-PE)
Vidros especiais	1.0	2.2	1.7	0.02	0	6.0	ND	53.0	42.0	USBS (USA)
Barrilha	1.3	3.0	1.0	5.0	ND	ND	ND	52.0	42.0	ALCANORTE (RN)
Indústria têxtil	1.7-3.0	1.4	1.0	4.0	ND	ND	ND	52.0	42.0	sob a forma de cal ; Se RI < 2,5%
Ração animal	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50.0	41.0	80% < 325 mesh

Nota: ND= resultados não determinados

Fonte: SEDEC/Governo de Rio Grande do Norte

CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

- uso dos rejeitos também deverá obedecer uma avaliação sobre a presença de fósseis nos mesmos, de forma a evitar a perda de exemplares que possam estar presentes;
- Como resultado dos trabalhos executados até o momento, se conclui que a quantidade de rejeitos das pedreiras de calcário da região do Cariri, totalizam 1.030.000,00m³, com temores médios de 54,0% CaO e 0,7% a 0,9% de MgO, para a região de Santana do Cariri e Nova Olinda, enquanto a região de Altaneira e Farias Brito, apresentou uma média de 44,0% a 46,0% de CaO e 5,9% a 6,8% de MgO;
- A atividade de produção da Pedra Cariri se constitui na economia básica dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos municípios de Altaneira e Farias Brito já que a agropecuária têm só um caráter de subsistência. Com isso, a extração desse bem mineral vem garantindo a permanência do homem no campo e nestas cidades. Com a viabilidade técnica-econômica do aproveitamento dos rejeitos gerados, a renda dos mineradores tenderá a um substancial aumento;
- Atualmente os rejeitos gerados tem seu emprego restrito a terraplanagem e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo seu uso mais nobre, o emprego na composição de cimento;

- Os resultados de caracterização obtidos permitem prever várias alternativas de uso do material calcítico analisado. Entretanto, ensaios específicos devem ser realizados para determinação das melhores aplicações;
- Visando um maior aproveitamento dos rejeitos, são propostos dois tipos de bloquetes padrão, nas formas cúbica e paralelepípeda para a produção de ladrilhos de tamanho 40 x 40 cm com espessura de 1cm;
- Uma das aplicações que prevemos ser promissora é a da obtenção de carbonato de cálcio precipitado (PCC), que normalmente obtido por meio da hidratação da cal (CaO), se obtendo um produto denominado leite de cal (Ca(OH)₂).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Brasília, 2003, p.110-111.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário mineral brasileiro**. Brasília, 2001, p.313-329.
- CAJATY, A. A. ; NETO, J. A. N. **Aproveitamento de Rejeitos em forma de Bloquetes da Pedreira Asa Branca Santa Quitéria – Ce**, p. 329 – 340 do Livro Rochas Industriais: Pesquisas geológicas, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, edição Livro Técnico, Fortaleza, 2003.
- CARVALHO, E. A. de; ALMEIDA, S. L. de **Caulim e Carbonato de Cálcio: Competição na Indústria de Papel**, p.11, Número 41, Série Estudos e Documentos do CETEM, 1997.
- CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, F.E.M. Mapa geológico do Estado do Ceará. Fortaleza, Convênio MME/CPRM Governo do Estado do Ceará/ Secretaria de Recursos Hídricos, 2003. Escala 1:500.000.
- CEARÁ. Governo do Estado. **Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará**, Fortaleza, SECITECE/ FUNCAP, Fortaleza, 2002, CD-ROM.
- CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no primeiro semestre de 2004. **Pedras do Brasil**, Espírito Santo, nº 29, p. 50-61, agosto 2004.
- MORAIS, J.O. *et al.* Rochas industriais: Pesquisa Geológica, Exploração, Beneficiamento e Impactos Ambientais, Fortaleza, SECITECE/ FUNCAP, Fortaleza, 2003, 514p.
- OLIVEIRA, A. A. Calcários Laminados do Cariri: **Estudo para redução de perdas na lavra e aproveitamento do rejeito mineral**. Fortaleza: UFC. Centro de Ciências, Departamento de Geologia. Curso de Mestrado em Geologia, 1998, 160p. il. (Dissertação de Mestrado).
- ROBERTO, F. A da C & SALES, F.A.C.B. **Rochas ornamentais do Estado do Ceará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., Araxá, 2004. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo Minas Gerais.
- ROBERTO, F. A da C. **Rochas ornamentais do Ceará**. 1998. 224p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.
- VIDAL, F.W.H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará**. 1995.178p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- VIDAL, F.W.H; PADILHA, M.W.M. **A indústria extrativa da pedra Cariri no Estado do Ceará: problemas x soluções**. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza, **Anais**, Ceará, 2003, p.199-210.

VIDAL, F.W.H.; ROBERTO, F. A. COSTA.
Rochas Ornamentais do Estado do Ceará.
**Avanços e Transferência Tecnológica em
Rocha Ornamental:** CETEM/MCT, Rio de
Janeiro, 2001, p.93-106. (Série Rochas e
Minerais Industriais n° 4).

VIDAL, F.W.H; PADILHA, M.W.M;
OLIVEIRA, R.R. **Estudo de Exploração
Preliminar dos Rejeitos da Pedra Cariri -
CE.** In: I CONGRESSO INTERNACIONAL
DE ROCHAS ORNAMENTAIS / II
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS, 2005, Guarapari, Anais,
Espírito Santo, 2005, CD Rom.

ANÁLISE PATOLÓGICA EM REVESTIMENTOS PREDIAIS DE EDIFICAÇÕES LITORÂNEAS NO RECIFE

*Júlio César de Souza
José Lins Rolim Filho
Suely Andrade da Silva*

DEMINAS/UFPE, 2126 8246. jcsouza@ufpe.br
DEMINAS/UFPE, 2126 8246. zelins@hotmail.com
ARQUITETA CONSULTORA. suely_a@terra.com.br

RESUMO

A indústria da construção civil utiliza intensamente para revestimento final das edificações os mais variados tipos de revestimentos entre estes os cerâmicos e pétros (granitos, mármore e ardósias) são os mais requisitados, especialmente por sua durabilidade, facilidade de manutenção e limpeza, beleza e flexibilidade na combinação das peças e cores.

As fachadas de edificações situadas em regiões litorâneas costumam apresentar grande número de patologias, motivadas pela agressividade da atmosfera (salina e de fortes ventos com particulados em suspensão), assim como pela emissão de resíduos gasosos do trânsito, característicos destas áreas. De modo geral, estes fatores alteram as características estéticas do revestimento, causando a desvalorização dos imóveis e a desfiguração da paisagem arquitetônica. Em Recife, estas patologias se manifestam principalmente através de eflorescências, fissuração, trincas e perdas de aderência (descolamentos), provavelmente decorrentes da falta de conhecimento específico sobre os materiais e outros componentes envolvidos no processo. O diagnóstico das patologias mais comumente encontradas nas edificações na orla das praias do Pina e Boa Viagem, em Recife, poderá fornecer informações precisas que embasem possíveis soluções de recuperação e melhoria da qualidade na construção e recuperação paisagística desta importante área turística de Pernambuco.

Mais recentemente, a indústria de construção vem buscando implementar novas tecnologias construtivas visando o aumento de eficiência e qualidade das obras. Aparentemente, a adoção de revestimento cerâmico poderia ser uma alternativa, pois os fabricantes costumam oferecer qualificação da mão de obra (aplicadores), o que normalmente não ocorre com as rochas ornamentais. Sobre os revestimentos com rochas ornamentais, seria adequado adotar um estudo sistemático destas rochas através de análise petrográfica com testes de durabilidade e resistência, o que poderia retardar ou reduzir o aparecimento de patologias relacionadas à degradação decorrente da agressividade então sofrida.

Por fim, é necessário dar mais atenção aos materiais utilizados na fixação das placas de revestimentos, para evitar a reação química e física entre os elementos envolvidos, tornando-se assim bem mais eficientes.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil utiliza intensamente para revestimento final das edificações os mais variados tipos de revestimentos entre estes os cerâmicos e pétros (granitos, mármore e ardósias) são os mais requisitados, especialmente por sua durabilidade, facilidade de manutenção e limpeza, beleza e flexibilidade na combinação das peças e cores.

As fachadas de edificações situadas em regiões litorâneas urbanas costumam apresentar grande número de patologias, a se alterar pela exposição às novas condições ambientais e de uso, o que pode se acelerar ante as agressividades climáticas, a ação de poluentes atmosféricos e a adoção de procedimentos construtivos e de manutenção inadequados.

Entretanto, depois de concluída a construção, apenas a camada de revestimento permanece exposta, de modo a proporcionar conforto funcional e estético ao seu usuário. Os revestimentos das superfícies externas, em especial as fachadas, são verdadeiros formadores da imagem do imóvel, indicativo do que se deve encontrar no seu interior.

Segundo AMBROSE (1992), a principal impressão causada pelos edifícios nas pessoas consiste no que é visto pelo seu exterior. Para cada oportunidade de análise dos aspectos internos de uma edificação, a pessoa, seja caminhando, ou até de dentro do seu automóvel, faz centenas e milhares de “inspeções” acerca do visual externo dos imóveis, conforme um critério particular de julgamento. Assim, ainda segundo esse autor, os materiais devem ser cuidadosamente selecionados para atender tanto aos aspectos estéticos como também aos de durabilidade.

Para CAMPANTE (1999), não há outro material utilizado em fachadas que possa apresentar a riqueza de composições e durabilidade do revestimento que não o cerâmico, com um custo tão acessível (isto para padrões mais populares).

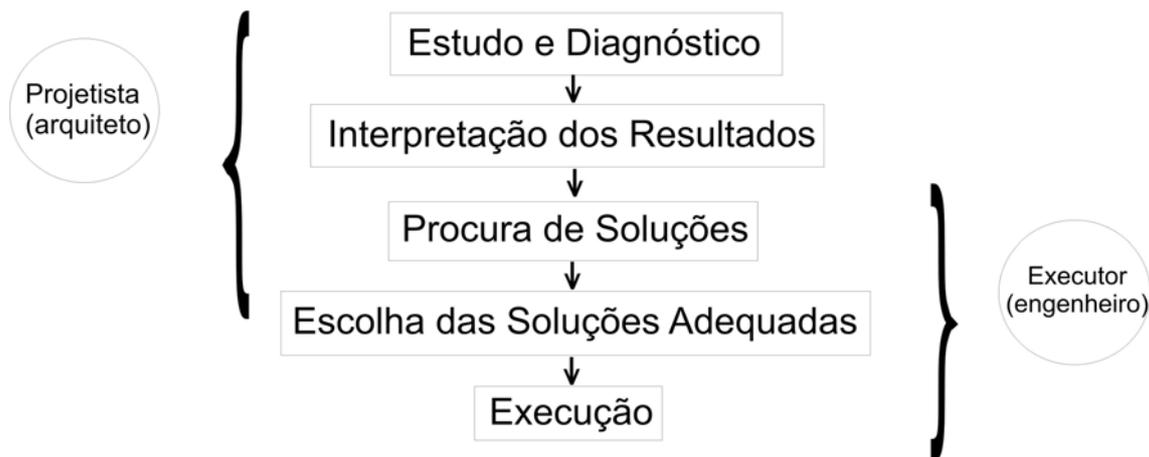
Conforme a ANFACER (1994), os fatores que levam os arquitetos a optarem

pela utilização do revestimento cerâmico na fachada são: durabilidade, facilidade de manutenção e limpeza, beleza e possibilidade de combinação das peças e cores.

Entretanto, mesmo a alta qualidade dos componentes individuais não é suficiente para garantir o desempenho do revestimento cerâmico aplicado se não atender a dois requisitos básicos: a) uma metodologia adequada de controle e de aplicação e b) conhecimento técnico alicerçado em firmes bases tecnológicas e experimentais em que sustente a elaboração de um projeto adequado. Assim o sucesso do revestimento cerâmico aderido depende em grande parte de um programa de qualidade implementada em todos os níveis de projeto e produção.

Alguns autores falam da grande incidência de falhas às quais pode gerar inúmeras patologias. Falhas essas originadas a partir de erros: de projeto, planejamento, especificação de materiais, entre outros, sendo também facilmente identificadas algumas falhas da própria execução. Tais falhas estão relacionadas à falta de qualificação adequada de quem executa o serviço, soluções improvisadas, atmosfera de trabalho desconfortável, pouca afinidade entre o grupo, barreiras entre a técnica e a administração, falta de tempo suficiente para a conclusão do serviço, gerenciamento deficiente e ausência de uma clara descrição do serviço a ser realizado.

A recuperação de uma patologia ou mesmo a reabilitação de um edifício deverá obedecer à metodologia a seguir apresentada, com as respectivas responsabilidades dos envolvidos:



Os problemas patológicos observados nas edificações, independente das suas formas de manifestação, podem ter origem em uma enorme gama de fatores, em função da grande complexidade dos vários sistemas envolvidos, inerente aos processos construtivos. Geralmente, as falhas não ocorrem devido a uma única razão, mas provavelmente decorre de uma combinação delas CASIMIR, (1994). Especialmente para os revestimentos de fachada, COZZA (1996) afirma que é preciso conhecer as características dos materiais e sua adequação ao local, projetar juntas, dosar adequadamente a argamassa, e dispor de uma excelente mão-de-obra e controle do produto que chega ao canteiro para se prevenir quanto ao surgimento de patologias.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

A adequação de uma rocha para uma utilização como material de construção, esta relacionada com a capacidade de preservar as suas características originais durante um período longo, considerado como razoável. Os materiais pétreos, tal como todos os outros materiais de construção, não são eternos, e degrada-se ao longo do tempo, numa medida que é função não só da sua constituição mineralógica, química e estrutural, como das características do meio ambiente onde estão inseridas.

As rochas ornamentais pelo fato de serem aplicadas em ambientes com características diferentes daqueles onde foram formadas, ficam sujeitas a processos

“agressivos”, quer antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contacto com produtos de limpeza domésticos e industriais) quer “naturais” (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo).

Assim, a caracterização tecnológica da rocha (mineralógica, física, química e mecânica) é uma etapa fundamental para sua utilização correta, segura e econômica, devendo se sobrepôr às tendências da moda.

Para se poder caracterizar a adequação de uma rocha para um determinado fim, é necessária conhecer e/ou quantificar e qualificar algumas das suas características petrográficas, químicas, físicas e mecânicas.

A **descrição petrográfica** de uma rocha ornamental é importante para estabelecer a sua classificação petrográfica e destacar uma série de características, tais como, a porosidade, descontinuidades, fissuras, estado de alteração, etc. A textura da rocha, nomeadamente, as proporções dos diferentes minerais constituintes, assim como a sua natureza, origem, dimensões dos grãos e características dos materiais cimentantes, são determinantes para conhecer o comportamento da rocha perante determinadas agressões físicas e químicas.

A **composição química** de uma rocha serve para destacar a presença de alguns compostos, que mesmo em pequenas quantidades, podem afetar a durabilidade estética da rocha num determinado meio. Além de informar quais os elementos que

mais contribuem para sua alteração. O conteúdo mais importante é a fração de carbonatos e silicatos da rocha.

As **características físicas** mais significativas são o peso específico aparente, porosidade e coeficiente de absorção de água. Estas determinações podem ser obtidas no mesmo ensaio, e entre a primeira e as restantes existe uma relação inversa. Assim, para o mesmo tipo de rocha, quanto menor for o peso específico aparente, maior será a porosidade da rocha e se os poros estiverem interconectados maior será o coeficiente de absorção de água.

Uma rocha muito porosa, se os poros estiverem interconectados, absorverá mais água na sua estrutura, tornando-a mais vulnerável à alteração do que outra rocha similar menos porosa.

Também uma rocha menos porosa apresenta valores mais altos de resistência aos esforços mecânicos não dinâmicos.

As **características mecânicas** mais usualmente determinadas são a resistência à compressão, a resistência à flexão, a resistência ao choque, a resistência à compressão após os ciclos de gelo-degelo, a resistência ao desgaste, a dilatação térmica, o módulo de elasticidade, e a micro dureza.

As características tecnológicas das rochas são obtidas através de análises e ensaios laboratoriais, executados segundo procedimentos rigorosos e normalizados.

PRINCIPAIS PATOLOGIAS REGISTRADAS

As patologias registradas em revestimentos apresentam-se de diversas

formas, todas elas resultando na impossibilidade de cumprimento das finalidades para os quais foram concebidos, notadamente no que se refere aos aspectos estéticos, de proteção e de isolamento.

A seguir são relacionadas as ocorrências mais comuns de patologias encontradas no litoral do Recife, na região compreendida entre as praias Pina e Boa Viagem em função dos levantamentos efetuados, especialmente no que se refere aos principais grupos patológicos selecionados.

Descolamentos

Revestimentos de argamassa com pintura convencional

Nas argamassas de cal a causa deste fenômeno está na presença de produtos não hidratados, na hidratação incompleta da cal, na má qualidade do produto ou no seu preparo inadequado.

Nas argamassas ricas em cimento ocorre a possibilidade de retração e descasamentos, sendo que, problemas podem surgir também nas argamassas mistas, com excesso de aglomerante cimento.

Foram registradas três formas distintas de patologias: empolamento (destacamento do reboco com formação de bolhas), placas (ruptura do reboco e do emboço da alvenaria) e pulverulência (desagregação e esfarelamento da argamassa, que se torna friável).

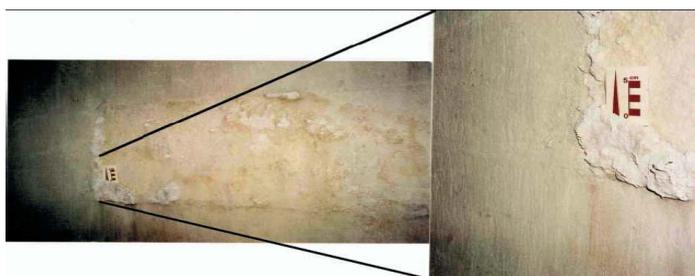


Figura 1 - Fenômenos de empolamento da superfície associada à cristalização de sais provenientes da absorção, condensação e evaporação de fluidos contendo sais.



Figura 2 - Suporte saturada em fachada revestida pintada com material acrílico

Revestimentos cerâmicos

É a mais freqüente, sendo as causas mais comuns a excessiva dilatação higroscópica do revestimento cerâmico, a inexistência e ou uso de juntas inadequadamente projetadas, juntas de movimentação, falhas no assentamento das peças e , até mesmo, falta de rejuntamento ou este último com elevada rigidez.

A questão relativa à execução de juntas de movimentação horizontais ou verticais deve ser estudada na fase de projeto, objetivando o alívio das tensões geradas pelas movimentações da parede e do revestimento, devido à variação de temperatura ou deformação da estrutura (admitindo-se que a junta de assentamento absorve as tensões oriundas da dilatação que a peça pode apresentar).



Figura 3 - Edifício Villa Esther Boa Viagem (Descolamento de placas)

As deformações térmicas ocorrem devido aos seus coeficientes de dilatação, estas deformações diferenciais são causadas pela temperatura diferencial entre as faces superior e inferior do revestimento, ou entre as faces externa e interna dos edifícios.

No caso do revestimento cerâmico se o coeficiente de dilatação linear for a metade do coeficiente de dilatação térmica linear da argamassa e do concreto, haverá uma tensão de compressão na interface à medida que temperatura cai em todo o conjunto.



Figura 4 – Dilatação térmica

Eflorescências

É um fenômeno muito comum em fachadas com revestimento de peças cerâmicas ou rochas ornamentais, alterando a aparência da superfície devido a se manifestar, geralmente, através de líquido esbranquiçado que percorre pelo revestimento, principalmente pelas juntas de dilatação, podendo causar desagregação do revestimento e/ou falta de aderência entre camadas do revestimento.

A ocorrência desta patologia está ligada ao teor de sais solúveis existentes nos materiais componentes da argamassa do revestimento, à presença de líquidos e da pressão necessária para que o composto atinja a superfície.

Segundo Addleson (1972), a presença de sais em um ambiente pode não revelar qualquer manifestação. Entretanto, após algum tempo podem aparecer, os efeitos deletérios resultantes de reações químicas complexas entre os sais e os componentes da estrutura/vedação. Ainda segundo esse autor, a eflorescência pode desaparecer por curtos períodos, o qual provoca o aparecimento intermitente desse fenômeno em fachadas. Assim em períodos de pouca chuva, os sais aparecem como marcas esbranquiçadas que são lavadas em épocas que combinam efeitos de vento e chuva. Também, o fenômeno pode aparecer na primavera/verão e desaparecer no inverno. Normalmente, esse ciclo se repete por alguns anos até se extinguir por completo, o que indica o esgotamento dos sais envolvidos no processo.



Figura 5 – Edifício Studio Portal de Boa Viagem (eflorescências na fachada)

Fissuras

Vários são os fatores que pode estar associadas as fissuras nos revestimentos: a sua incapacidade de absorver as movimentações da estrutura que reveste (oriundas de carregamentos diversos ou ação de vento), bem como a técnica executiva utilizada, características e dosagem dos materiais constituintes.

No caso das argamassas, o uso de elevado teor de finos, traços muito fortes (com alto teor de aglomerantes em relação aos agregados), elevada quantidade de água de amassamento e operações excessivas de alisamento do revestimento assentado pode favorecer o aparecimento de fissuras oriundas da retração hidráulica do cimento.

Vale a pena citar fissuras originadas por deficiências ocorridas em etapas anteriores a da aplicação do revestimento, tais como:

- Fissuras relacionadas ao recobrimento insuficiente do concreto (uma menor camada de recobrimento

pode permitir a penetração de gases que podem reduzir o pH do concreto comprometendo a proteção química que este fornece ao aço e, como a oxidação e/ou hidroxidação deste último ocorre com significativo aumento de volume este fenômeno gera tensões radiais de compressão na ferragem e conseqüentemente tensões de tração são então geradas no revestimento).

- Fissuras relativas à execução da alvenaria (fissuras que ocorrem na região de transição viga/alvenaria, também fissuras devido a reações expansivas da argamassa de assentamento dos elementos de alvenaria ocasionadas pela utilização de argilo-minerais expansivos, cal com elevado teor de óxidos não hidratados ou reações expansivo cimentos/sulfatos).
- Fissuras relacionadas à ausência ou mau dimensionamento de vergas e contra-vergas gerando concentrações de tensões nos cantos das janelas.



Figura 6 – Fissuras vertical/ inclinada

Vesículas

As vesículas (pontos estourados no revestimento) se manifestam através do empolamento da pintura podendo ser de coloração branca, preta ou vermelha

acastanhada (associadas a má qualidade da areia, basicamente quando esta apresenta pirita, matéria orgânica ou concreções ferruginosas que, ao oxidarem, promovem reações expansivas).

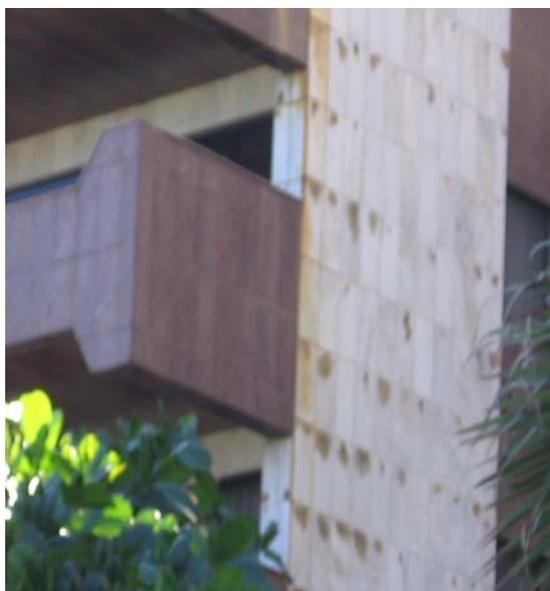


Figura 7 - Edifício Cordona Boa Viagem (vesículas)

Manchas

Normalmente provocadas pelas infiltrações de água, devido a sistemas de impermeabilização deficientes, as manchas podem se manifestar sob forma de eflorescências (discutidas anteriormente), bolor (manchas esverdeadas ou escuras,

comuns em áreas não expostas à insolação) ou mudanças de tonalidade dos revestimentos. Frequentemente estão associadas aos descolamentos, à desagregação dos revestimentos e à má aderência entre camadas distintas de revestimentos.



Figura 8 – Edifício Vitória / Boa Viagem (crostas negras)

CLASSIFICAÇÃO DA ORIGEM DAS PATOLOGIAS EM ROCHAS

As patologias em rochas ornamentais podem ser classificadas como:

- **Congênitas** - originárias da fase de projeto, em função da não observância das Normas Técnicas, ou de erros e omissões dos profissionais, que resultam em falhas no detalhamento e concepção inadequada dos revestimentos. São responsáveis por grande parte das avarias registradas em edificações.
- **Construtivas** - relacionadas à fase de execução da obra, resultante do emprego de mão-de-obra despreparada, produtos não certificados e ausência de metodologia para assentamento das peças, o que, segundo pesquisas mundiais, também são responsáveis

por grande parte de das anomalias em edificações.

- **Adquiridas** - resultado da exposição ao meio em que se inserem, podendo ser naturais, decorrentes da agressividade do meio, ou decorrentes da ação humana, em função de manutenção inadequada ou realização de interferência incorreta nos revestimentos, danificando as camadas e desencadeando um processo patológico.
- **Acidentais** - caracterizadas pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade superior ao normal, recalques e, até mesmo incêndio. Sua ação provoca esforços de natureza imprevisível, especialmente na camada de base e sobre os rejuntas, quando não atinge

até mesmo as peças, provocando movimentações que irão desencadear processos patológicos em cadeia.

PRINCIPAIS CAUSAS DAS PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS

A **água** é o veículo para praticamente todos os agentes químicos, ainda que mesmo sob a forma de umidade.

Um dos ataques mais graves nos centros urbanos é provocado pelos gases da **poluição** automóvel. As rochas mais afetadas são os calcários e os carbonatos de cálcio. Os agentes químicos mais agressores são os dióxidos de carbono e os gases sulfurosos. Estes elementos, que em ambientes poluídos apresentam níveis de concentração elevados, reagem quimicamente com os elementos das rochas, ficando a sua coesão interna diminuída. O material do interior da rocha poderá tornar-se pulverulento e desagregado.

O **vento** pode ter uma ação abrasiva significativa se transportar partículas e areias. Este fenômeno é aumentado se for canalizado através de passagens estreitas.

Alguns **pássaros**, como por exemplo os pombos, provocam a corrosão química através dos seus dejetos.

Os **microrganismos**, como os fungos, as algas, os líquenes e as bactérias, que se constituem sob condições propícias de umidade e de luz, podem ser prejudiciais ao nutrirem-se dos sais e matérias que retiram do próprio material em que se fixam. Alguns organismos segregam ácidos e outros químicos capazes de dissolver alguns componentes das rochas. A colonização de microrganismos está associada à disponibilidade de água.

A causa mais significativa de deterioração é a **água**.

DIFERENTES PROCESSOS E MÉTODOS DE INTERVENÇÃO

A **Limpeza** das fachadas tem finalidades estéticas e protetoras, visando eliminar todos os elementos prejudiciais ao revestimento como sais solúveis, incrustações, microrganismos, partículas de poluição, excrementos de aves, entre outros. Os métodos de limpeza aplicados sem uma pesquisa técnica foram durante muito tempo os causadores de diversas patologias em edifícios.

A **limpeza com água** é hoje bastante desaconselhada. Este método normalmente ineficaz a remover manchas muito entranhadas, reduzindo apenas a sua intensidade e expondo a rocha ao seu principal agente agressor.

O **jato com partículas abrasivas** deve ser equacionado tendo em conta as características das rochas. A pressão pode ocasionar perdas de material significativas nas rochas. A utilização deste método pode abrir as fissuras eventualmente existentes e provocar a abertura dos poros da rocha aumentando a sua capacidade de absorção de água. É preferível a utilização de micro-jatos, para evitar um grande desgaste do material.

A limpeza por **micro-jato de precisão de partículas abrasivas** tem sido precisamente considerada como um dos mais aconselhados para remoção de crostas duras.

A **limpeza com ferramentas mecânicas** - escovas rotativas, discos, escovas metálicas, etc. - produz desgaste e conduz à alteração da textura da rocha, não sendo um método muito aconselhável para alvenarias de rochas.

Na **limpeza por chama** as crostas superficiais estalam e são facilmente destacadas. A rocha pode ficar danificada, devido essencialmente às grandes amplitudes térmicas entre a camada mais superficial e o interior da rocha.

Os diferentes **produtos químicos** utilizados na limpeza de rocha apresentam níveis de eficácia muito variados. Os efeitos variam com a composição do produto

químico e com a composição mineralógica da rocha. Este tipo de limpeza pode introduzir manchas nas rochas, podendo ainda surgir efflorescências de sais devido a uma deficiente remoção dos químicos utilizados na limpeza durante a lavagem.

Um método que tem sido cada vez mais utilizado é a limpeza com biocidas, sendo os mais utilizados os de cloro, cobre, e as soluções de amônia ou borato. No mercado a quantidade de produto existente já é bastante significativa. Os fabricantes orientam a sua aplicação em tempo seco e em superfícies secas. Os organismos de maiores dimensões devem ser removidos com escovas macias. Entre varias experiências, constatou-se que as soluções de amônia com borato são tão eficazes como as de cobre. Existem novas técnicas, ainda em desenvolvimento, tais como a limpeza por laser e por ultra-sons e as limpezas com pastas biológicas que, embora ainda em fase muito precoce de pesquisa, têm-se mostrado muito promissores, apesar de alguns casos implicarem custos bastante significativos.

A limpeza de **Graffitis** é um problema que afeta principalmente os monumentos muros e fachadas. A melhor forma de combater estas ações de vandalismo é mostrando grande persistência na limpeza. No entanto, a remoção de tinta em superfícies rugosas e porosas, como os calcários, é muito difícil e dispendiosa.

A proteção com relação à **absorção de líquidos e oleosidade** pode ser viabilizada através de impermeabilizantes sub-superficiais hidro e óleo repelentes. A utilização desses selantes só pode ser efetuada mediante testes específicos, pois os produtos disponíveis no mercado não têm composição adequadamente grafada e suas recomendações de uso são muito genéricas.

É recomendável começar pelos processos mais simples (lavagem com água e detergente). Para a alvenaria porosa e para as tintas de aerossol ou canetas de feltro recomenda-se a utilização de "White spirit", xileno, diluentes celulósicos, cloreto de metileno ou outros solventes certificados.

Após a aplicação destes produtos, as superfícies devem ser lavadas. A remoção das tintas dá á área limpa um aspecto diferente do resto do edifício. Normalmente, a zona limpa ganha rapidamente a tonalidade da restante superfície. No entanto, em alguns casos, tem-se aplicado produtos escurecedores propositadamente a parede na zona limpa, após a remoção das tintas, de forma a tornar a superfície o mais homogênea possível.

Preventivamente ou após um trabalho de limpeza e/ou consolidação, poderá optar-se pela criação de uma camada protetora superficial que irá sofrer os processos de desgaste provocados pelos diferentes agentes agressores. Esta camada tem que ser substituída periodicamente. Os hidro-repelentes comercializados são normalmente anunciados como permeáveis ao vapor de água, de forma a permitir a evaporação de água que se encontre no interior da rocha. Hoje em dia, são muito utilizados os produtos acrílicos e os silicones. Por vezes, são misturados com fungicidas e bactericidas para proteção contra o ataque de organismos biológicos. Sendo aplicados como uma tinta (a pincel ou pistola), constituindo assim uma fina película de proteção contra a umidade e os poluentes atmosféricos. Estes tratamentos têm um período de vida limitado e devem ser renovados periodicamente.

CONCLUSÕES

A importância do conhecimento das rochas, suas propriedades e técnicas de produção e das técnicas e materiais de assentamento são indispensáveis na prevenção das patologias. De um modo geral, as patologias não têm sua origem concentrada em fatores isolados, mas sofrem influência de um conjunto de variáveis, que podem ser classificadas de acordo com o processo patológico, com os sintomas, com a causa que gerou o problema ou ainda a etapa do processo produtivo em que ocorrem.

As manifestações patológicas são também responsáveis por uma parcela importante da manutenção, de modo que

grande parte das intervenções de manutenção nas edificações poderia ser evitada se houvesse um melhor detalhamento do projeto que permita uma visão clara do que será executado; especificação do material; conhecimento de normalização; um programa de manutenção preventiva ou corretiva e mão de obra qualificada ao longo da execução da obra.

Sem a devida atenção a esses fatores, vários problemas podem vir a ser gerados, como, por exemplo, a baixa qualidade dos materiais específicos, a especificação de materiais incompatíveis, o detalhamento insuficiente ou equivocado, o detalhamento construtivo inexecutável, a falta de padronização e o erro de dimensionamento, o comprometimento do desempenho e a qualidade global do ambiente construído.

No entanto, o importante nesses casos é compreender a necessidade de se estudar as manifestações patológicas no sentido de evitar a sua ocorrência no presente, precavendo também, com isso, problemas futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimentos de Paredes Externas com Placas Cerâmicas e com Utilização de Argamassa Colante - Procedimento. NBR 13755 /1996.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA

REVESTIMENTO (ANFACER). Guia de assentamento de revestimento cerâmico: assentador: São Paulo; 1998, 2.ed.48p

BT/PCC/246 Tecnologia e Projeto de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios. JONAS SILVESTRE MEDEIROS, FERNANDO HENRIQUE SABBATINI. 28p.

BT/PCC/285 Descolamento dos Revestimentos Cerâmicos de Fachadas na Cidade do Recife. ANGELO JUST, LUIZ SERGIO FRANCO. 29p.

CAMPANTE, E.F.; SABBATINI, F.H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIAS DE LAS CONSTRUCCIONES, V. Montevideu, 1999, Anais Montevideu 1999.

CARVALHO JR, ANTÔNIO NEVES - Descolamentos de revestimentos Cerâmicos em Fachadas. Informativo do Instituto Mineiro de Avaliações e Perícias em Engenharia. Ano XI nº 29. Belo Horizonte, 1997.

MAIA NETO, FRANCISCO. Perícias em Patologias de Revestimentos em Fachadas. Belo Horizonte, 1997.

PEREZ, A.R. Manutenção dos edifícios. Tecnologia das edificações. São Paulo, 1988. p.611-4.

_____. Por que granitos, mármore e cerâmicas caem das fachadas? Recuperar. p.27-34, nov./dez. 1997b.

APLICAÇÃO OTIMIZADA DE ROCHAS ORNAMENTAIS ATRAVÉS DA ANÁLISE DO BRILHO E ESTIMATIVA DE ALTERABILIDADE

*Diego Ricardo Laranjeira Laranjeira
Evenildo Bezerra de Melo
Felisbela Maria da Costa Oliveira
Júlio César de Souza
Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros*

Universidade Federal de Pernambuco
Fone: (81) 2126-8245
dilaranjeira@msn.com
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. 3º andar. Cidade Universitária, Recife, PE.

RESUMO

O índice de brilho em rochas ornamentais é utilizado para avaliar a sua melhor utilização em ambientes interiores ou exteriores. A metodologia consiste em medição de reflexão de luz (índice de brilho), com ângulos de incidência de 20° e 60°, através de aparelho eletrônico, testada em cinco tipos de rochas procedentes da Paraíba e Ceará, bem aceitas no mercado: San Marco, Abelha Branca Picuí Tropical, Picuí de Verinha e Florence Red.

San Marco (Paraíba) apresenta brilho homogêneo cuja variação é de 13% entre as medidas segundo os diferentes ângulos citados, maior índice de brilho a 20° (68), indicativo de destaque à sombra, sugerindo melhor aplicação estético-decorativa em interiores secos, pois possui coloração escura e micas ferro-magnesianas oxidáveis.

Abelha Branca (Ceará), Picuí Tropical e Picuí de Verinha (Paraíba) expressam variação de cerca de 23% entre aquelas medidas, menor índice brilho a 20° (57 a 58) sugerindo melhor adequação a ambientes com grande luminosidade. Sua composição quartzosa, granulação fina, inferior a 2,5 mm, conjugada com maior microfissuramento e conseqüente absorção de umidade, torna essas rochas mais adequadas à monitoração do brilho para estimativa de alterabilidade.

Florence Red (Paraíba) é a rocha de maior índice de brilho a 60° (80), 19% entre as medidas segundo os diferentes ângulos citados. Tem maior adequação ao uso externo, pois é a rocha de menor alterabilidade, previsível pela composição mineral rica em K-feldspato. Comparações entre os valores de brilho medido em intervalo de 18 meses apontaram menor variação para esta rocha corroborando sua menor alterabilidade.

O índice de brilho e os índices físicos dependem da mineralogia e da textura das rochas e sua aferição quantitativa auxilia na caracterização quanto à melhor utilização com finalidade ornamental.

INTRODUÇÃO

A aplicação de rochas ornamentais tem sido incrementada pela sua utilização na construção civil, obras de arte, urnas funerárias e decoração de interiores, apreciadas pela qualidade estética e durabilidade.

Rochas ornamentais são peças de valor mercadológico, cuja preferência de uso vem da sua estética, dentro da qual a intensidade e homogeneidade do brilho possuem grande importância.

A quantificação da mineralogia, de índices físicos e de brilho, com a respectiva

aferição estatística para garantir a confiabilidade no acervo disponível, além de alimentar banco de dados de rochas ornamentais, contribui para propostas de adequação de normas técnicas, principalmente no que se refere ao número amostral.

É oportuno ter claro que estética depende de brilho, sendo propósito do estudo interrelacionar os dados quantificadores desse com correspondentes porosidade e absorção de umidade. Todos dependentes da composição mineral e da textura. Deve-se destacar que a rocha de melhor brilho nem sempre se adequa ao uso pretendido.

A aplicabilidade e funcionalidade do índice de brilho e sua comparação com os índices físicos de amostras com aceitação mercadológica é o conteúdo essencial do trabalho. O uso do equipamento portátil Glossmeter para medir brilho, revelado útil e convincente, traz consigo a força do caráter prático da operação.

A pesquisa estudou cinco tipos de rochas silicáticas: Picuí de Verinha, Paraíba; Florence Red, Paraíba; San Marco, Paraíba; Abelha Branca, Ceará; e Picuí Tropical, Paraíba. Nomes comerciais de tipos bem aceitos.

BRILHO E ÍNDICES FÍSICOS

É oportuno ter claro que a estética depende de brilho e falta de manchamento sendo propósito do estudo interrelacionar os dados quantificadores do brilho com os correspondentes da porosidade e absorção de umidade.

A aplicabilidade e funcionalidade do índice de brilho e sua comparação com os índices físicos de amostras com aceitação mercadológica é o conteúdo essencial do trabalho, situado dentro do propósito de ampliação do banco de dados.

O uso do equipamento portátil Glossmeter, revelado útil e convincente, traz

consigo a força do caráter prático da operação.

A utilização de trinta corpos de prova de chapas serradas e polidas nas mesmas condições industriais traz embutida a idéia de se obter, mais a longo prazo, o conhecimento suficiente para sugerir sobre o número amostral ótimo à realização dos ensaios pertinentes. Apenas para exemplificar quanto à necessidade de ser revista a normatização de alguns ensaios, hoje são recomendados seis exemplares de cada material, independentemente do tipo mineralógico-textural. É fácil entender que para os tipos com textura movimentada e granulometria grossa aquela quantidade pode não ser suficientemente representativa.

Outrossim, por ocasião da preparação das peças a serragem transmite abrasão e impacto, resultando, portanto em microfissuramento nas peças mais quartzosas, ao passo que no polimento há modificação da porosidade e absorção de umidade originais. O resultado do polimento, bem caracterizado pelo "fechamento" do brilho, também acaba sendo uma função da composição mineral, pois o fechamento é tanto melhor quanto maior a pobreza em quartzo, mineral cuja resistência à abrasão dificulta o fornecimento do pó que fecha os poros e melhora o aspecto.

A variação dos valores medidos periodicamente para o brilho é proposta como princípio de aferição numérica para a alterabilidade. Entretanto, até agora a avaliação ainda não identificou sensíveis variações. Deve ser entendido esse enfoque, apenas como um auxílio por ocasião da utilização de um simulador de intemperizações.

Adicionalmente o projeto "Engenharia e Desenvolvimento Regional": Subprojeto C (Rochas Ornamentais) financiado pela FINEP/CNPq, executado pelo Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (CTG-UFPE) permitiu que o Grupo de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas levasse o conhecimento acumulado para o conteúdo

acadêmico das disciplinas dos cursos de engenharia civil, engenharia de minas e geologia, aumentando o interesse dos futuros profissionais estimulando o enfoque multidisciplinar, garantindo a visão multilateral que o tema requer.

Diversos autores de reconhecimento internacional (Gupta e Rao, 2000; Kahraman, 2002; Tugrul e Zarif, 1999) têm estudado amplamente as correlações entre as propriedades de rochas ornamentais. Onodera e Asoka Kumara (1980) demonstraram que a presença de clivagem e microfissuras reduzem a resistência à compressão da rocha, embora aumentem a sua resistência ao impacto.

Tugrul e Zarif (1998) determinaram que a massa específica seca possui correlação direta com a razão percentual modal quartzo/feldspatos e correlação inversa com a porosidade total. A presença de grãos anedrais de quartzo preenchendo os espaços entre os outros grãos minerais seria a razão para essas correlações.

Não foi encontrado na literatura estudos pertinentes ao comportamento do brilho das rochas ornamentais.

ÍNDICES FÍSICOS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

A pesquisa concentrou estudo sobre cinco tipos de rochas silicáticas: Picuí de Verinha, Florence Red, San Marco, Abelha Branca e Picuí Tropical, todos nomes comerciais de tipos bem aceitos no mercado, procedentes do Estado da Paraíba, exceto Abelha Branca que é proveniente do Ceará.

A produção de chapas, cuja espessura varia de 1,5 a 7,0 cm, conforme a finalidade, parte do bloco de rocha de dimensões 3,0 x 1,6 x 1,3 m, cuja serragem já resulta produto comercializável.

O polimento requer uma mesa com 24 cabeçotes e quando material susceptível a fissuramento, suas chapas são submetidas aos cinco primeiros cabeçotes, o que as deixa levigadas. Retiradas dos cabeçotes, as

placas são submetidas ao resinamento, tratamento químico para diminuir a porosidade e após a secagem, as peças voltam a ser polidas por completo.

Para determinação dos parâmetros na pesquisa são usados: estufa, balança de alta precisão, bandejas, flanela e medidor de brilho (glossmeter IG 330 - um emissor de raio de luz e um sensor para captar reflexão).

Para cada produto (bruto, serrado, levigado e polido) prepararam-se 30 (trinta) corpos de prova prismáticos nas dimensões 2,0 x 2,0 x 1,5 cm.

Os ensaios feitos na pesquisa para determinar os índices físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água aparentes), foram baseados na norma brasileira NBR-12766, com número amostral triplicado.

Para obtenção dos índices físicos as peças foram levadas à estufa em bandejas com espaçamentos regulares para haver circulação de ar, permanecendo ali por 24 h, antes de serem pesadas. Logo após foram submersas gradativamente em água da seguinte forma: o nível inicial foi 1/3 da altura das amostras; o nível seguinte, após 4 h, foi 2/3 da altura das amostras; e finalmente, após mais 4 h, foram completamente submersas. Depois de completar 48 h do início da imersão procedeu-se à pesagem da amostra ao ar e na condição submersa.

As aferições de brilho podem ser feitas a 20° ou 60° de ângulo de incidência, com maior acuracidade para a primeira, e a segunda mais oblíqua.

Em cada corpo de prova mediram-se cinco vezes para cada ângulo de incidência, esses procedimentos foram repetidos em três datas diferentes.

A composição mineralógica está diretamente ligada à variedade das rochas. Essa variedade dá-se em função da formação geológica e dos minerais que constituem as rochas.

A composição mineral modal mesoscópica das amostras apresentou basicamente K-feldspato que apresenta coloração rósea a avermelhada, conforme inclusões de ferro; plagioclásio, coloração alva e/ou verde, conforme inclusões de epidoto; quartzo com aspecto cinzento e translúcido; e micas que se apresentam como lamelas brilhantes pretas ou prateadas.

A ordem crescente de alterabilidade é K-feldspato, plagioclásio e mica, devida à composição química.

O quartzo não altera, porém é um desencadeante de alteração por ser pouco resistente a impactos e microfissurar-se facilmente, aumentando a porosidade, a absorção de umidade e conseqüentemente a alterabilidade da rocha.

A ordem crescente de dureza dos principais minerais é: mica, plagioclásio, Kfeldspato e quartzo.

A tabela a seguir resume a composição mineral modal mesoscópica das rochas em estudos.

Amostra	K-feldspato (%)	Plagioclásio (%)	Quartzo (%)	Mica (%)	Total (%)
Picuí de Verinha	63	15	11	11	100
Florence Red	64	6	24	6	100
San Marco	0	70	6	24	100
Abelha Branca	0	75	20	5	100
Picuí Tropical	64	7	18	11	100

Tabela 01 – Composição mineralógica modal mesoscópica das rochas pesquisadas

Picuí de Verinha possui uma cor predominantemente bege pela grande quantidade de K-feldspato, com partes brancas por plagioclásio e pontos pretos formados de mica.

Florence Red apresenta uma cor avermelhada devida à grande quantidade de K-feldspato, algumas partes cinzentas de quartzo. Poucos pontos pretos e brancos pela pobreza de mica e plagioclásio respectivamente.

San Marco tem coloração escura esverdeada, pois possui elevada quantidade de plagioclásio e partes pretas a amarronzadas, por causa da mica. Possui pouco quartzo e ausência de K-feldspato.

Abelha Branca é uma rocha alva devida à grande quantidade de plagioclásio albitico e com pequenas regiões cinzentas formadas por quartzo. Há pouca mica e não foi identificada presença de K-feldspato.

Picuí Tropical apresenta uma cor rósea escuro, conseqüência do teor de K-

feldspato, com pontos cinzentos de quartzo. Poucos são os pontos brancos e pretos pela falta de plagioclásio e mica.

As amostras de Florence Red, San Marco e Abelha Branca tiveram uma massa específica do estado polido aumentada em relação ao estado bruto, devido à grande quantidade de material de baixa dureza que facilita o polimento, proporcionando melhor fechamento dos poros da chapa com a fuligem ou o próprio pó.

Picuí Tropical e Picuí de Verinha diminuíram a massa específica do estado bruto para o estado polido, o que pode ser explicado pela presença de quartzo com granulometria fina, proporcionando baixa resistência a impacto, resultando em mais microfissuras no momento do polimento. Pode se verificar que a porosidade dessas duas rochas foram os que menos diminuíram do estado bruto para o estado polido, indicando pouco fechamento dos poros no polimento (ver tabela 02).

A absorção de umidade no estado bruto foi maior do que no estado polido para todas as amostras, pois a tendência do polimento é o preenchimento dos poros.

San Marco apresentou a maior porosidade cuja explicação se dá pelo alto percentual de mica.

Picuí de Verinha forneceu resultado de absorção de umidade um pouco menor que o resultado do San Marco, porém muito

próximo, devido à quantidade de quartzo que dificulta o fechamento dos vazios, conforme citado anteriormente.

Verificou-se a lógica relação linear crescente entre absorção de umidade e porosidade, pois à medida que aumenta a porosidade, aumenta a absorção de umidade. Isso explica outras correlações que se apresentam, como: massa saturada aparente com absorção de umidade e massa saturada aparente com porosidade.

Tabela 02 – Resumo dos Índices Físicos

Absorção Aparente de Água			Porosidade			Massa Específica Saturada			Massa Específica Seca			
Coef. Variação	Des. Padrão	Média	Coef. Variação	Des. Padrão	Média	Coef. Variação	Des. Padrão	Média	Coef. Variação	Des. Padrão	Média	
0,2283	0,0130	0,1141	0,4999	0,2325	0,1037	0,3221	1,3851	0,0167	0,0022	0,0465	2,7821	Picuí Tropical
0,1077	0,0046	0,0681	0,6321	0,1061	0,0327	0,1809	1,7050	0,0029	0,0001	0,0079	2,7147	BRUTA
0,0597	0,0007	0,0272	0,4556	0,1031	0,0170	0,1302	1,2627	0,0997	0,0791	0,2812	2,8211	SERRADO
												LEVIGADO
0,2004	0,0130	0,1140	0,5690	0,1950	0,0954	0,3088	1,5833	0,0558	0,0245	0,1564	2,8051	Picuí Verinha
0,1032	0,0036	0,0603	0,5839	0,1020	0,0260	0,1611	1,5804	0,0045	0,0001	0,0121	2,7227	BRUTA
0,0775	0,0026	0,0514	0,6637	0,1319	0,0596	0,2442	1,8518	0,0942	0,0700	0,2645	2,8092	SERRADO
0,1304	0,0052	0,0721	0,5525	0,1306	0,0390	0,1974	1,5118	0,0570	0,0250	0,1582	2,7725	LEVIGADO
												POLIDO
0,5289	0,1989	0,4460	0,8434	0,5055	1,3126	1,1457	2,2664	0,0117	0,0010	0,0319	2,7202	Florence Red
0,1194	0,0053	0,0727	0,6089	0,1152	0,0361	0,1901	1,6501	0,0226	0,0038	0,0616	2,7282	BRUTA
0,2513	0,0333	0,1824	0,7257	0,2866	0,3397	0,5828	2,0339	0,0414	0,0135	0,1160	2,8031	SERRADO
0,1188	0,0034	0,0582	0,4896	0,1220	0,0272	0,1648	1,3511	0,0329	0,0083	0,0914	2,7801	LEVIGADO
												POLIDO
0,2457	0,0287	0,1696	0,6901	0,2502	0,2212	0,4703	1,8794	0,0025	0,0025	0,0503	2,7391	Abelha Branca
0,1532	0,0073	0,0857	0,5597	0,1516	0,0536	0,2315	1,5274	0,0145	0,0016	0,0398	2,7455	BRUTA
0,1371	0,0045	0,0668	0,4869	0,1605	0,0475	0,2179	1,3575	0,0458	0,0165	0,1286	2,8046	SERRADO
												LEVIGADO
0,1543	0,0070	0,0834	0,5406	0,1621	0,0693	0,2632	1,6237	0,0207	0,0039	0,0624	3,0166	San Marco
0,0978	0,0018	0,0427	0,4370	0,0963	0,0160	0,1263	1,3115	0,0035	0,0001	0,0105	3,0150	BRUTA
												SERRADO
0,1504	0,0056	0,0748	0,4973	0,1554	0,0555	0,2356	1,5156	0,0490	0,0225	0,1499	3,0612	LEVIGADO
												POLIDO

ÍNDICE DE BRILHO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Brilho é um resultado da reflexão de luz. Nas rochas, depende da cor, textura/estrutura e composição mineral. Quanto maior a quantidade de minerais de alta dureza, mais difícil será seu polimento, conseqüentemente menos intenso será o brilho. Nesta pesquisa, também influencia o maior tamanhos de grãos de minerais com clivagem, pois menor será o microfissuramento e porosidade, o que resulta em melhor brilho.

O brilho é de fundamental importância, pois do ponto de vista comercial, a preferência é estético-decorativa e, portanto, pelo melhor brilho. Deve-se, porém destacar que nem sempre a rocha de melhor brilho é a mais adequada para alguns usos. Por exemplo, em ambientes externos, com grande iluminação, também se requer que a

rocha tenha baixa alterabilidade. As de melhor brilho devem ser usadas preferencialmente em ambientes com menor iluminação.

O medidor de brilho tem maior sensibilidade e puntualidade para as medidas com 20°, condição que representa uma menor área do que a 60°, donde se deduz sua melhor adequação para acompanhamento de alterabilidade. O brilho a 20° retrata, também, maior homogeneidade textural-granulométrica e de espécies minerais. O brilho quando medido a 60°

é maior que a 20°, pois no primeiro o raio de luz é mais tangencial.

Daí, os valores de 20° são mais expressivos de reflexão puntual, o que qualifica o material ao uso em ambiente interno de baixa luminosidade.

Os resultados das medições de brilho estão na tabela seguinte.

Amostra	Média 20°	Média 60°	Δ	$\Delta(\%)$
Picuí de Verinha	58	76	18	23,7
Florence Red	65	80	15	18,8
San Marco	68	78	10	12,8
Abelha Branca	57	74	17	23,0
Picuí Tropical	58	75	17	22,7

Tabela 03 – Média do brilho aferido com ângulos de incidência 20° e 60°, a diferença dos valores medidos para cada ângulo de incidência e a representação percentual dessa diferença

As medições se realizaram em três etapas, a cada dois meses, para estimar a variação do brilho de amostras não aplicadas e, portanto, poupadas de qualquer ataque artificial. Nesse intervalo de tempo não houve variação de brilho relevante (ver Tabela 04 e Tabela 05).

Florence Red apresentou o melhor índice de brilho a 60° por ter grande quantidade de K-feldspato e granulometria grossa de seus minerais, apesar de ter grande quantidade de quartzo, sempre com granulometria menor que a dos cristais de feldspato. Também nas

condições de 60°, o tipo San Marco teve percentual de brilho um pouco inferior, sendo ainda um bom resultado, pois se trata de rocha cujo polimento é facilitado por apresentar pouquíssimo quartzo e grande quantidade de mica.

Com ângulo de incidência de 20° San Marco obteve o melhor índice de brilho, logo sucedido por Florence Red. Verifica-se também que San Marco, afora a melhor homogeneidade granulométrico-textural foi a amostra que apresentou menor variação nos valores de brilho, comparando a incidência de luz segundo

20° e 60, dado que significa a sua melhor adequação para uso em ambientes com pouca luminosidade.

Uma análise dos parâmetros estatísticos para a comprovação da

representatividade dos dados foi procedida e resumida nas tabelas seguintes que contêm as médias e seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação para cada etapa de medição.

Amostra	Nov/02			Jan/03			Mar/03		
	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Picuí de Verinha	74	4,3	0,0572	76	4,3	0,0565	77	3,5	0,0462
Florence Red	79	4,1	0,0512	81	4,8	0,0596	80	4,5	0,0567
San Marco	77	4,1	0,0525	79	3,8	0,0482	78	3,8	0,0491
Abelha Branca	73	2,5	0,0345	75	3,2	0,0425	74	3,4	0,0456
Picuí Tropical	74	5,8	0,0784	75	6,1	0,0819	75	6,0	0,0801

Tabela 04 – Evolução do brilho: médias aferidas a 60° com seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação

Amostra	Jan/03			Mar/03		
	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Picuí de Verinha	58	6,9	0,1181	59	6,7	0,1142
Florence Red	65	8,0	0,1233	65	7,8	0,1197
San Marco	69	7,7	0,1121	68	8,0	0,1187
Abelha Branca	57	5,9	0,1031	57	5,7	0,1003
Picuí Tropical	58	10,3	0,1784	58	11,0	0,1898

Tabela 05 – Evolução do brilho: médias aferidas a 20° com seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação

Percebe-se claramente que todos os valores de desvio padrão e coeficiente de variação são baixos. Nas leituras a 60°, o maior coeficiente de variação é de aproximadamente 8%, enquanto nas correspondentes de 20° é de 18%. Portanto, os valores se enquadram como regulares, pois estão muito abaixo do limite estabelecido no tratamento similar de dados ligados a exploração mineral: nas jazidas regulares, os coeficientes de variação normalmente situa-se entre 5 e 40% (Maranhão: 1985, 54), esse autor por sua vez se baseou nos estudos de Kreiter (1968), os quais estabelecem regularidade para coeficientes de variação menor que 40%, comprovando a representatividade e confiabilidade da pesquisa.

CONCLUSÕES

O trabalho se propôs ao estabelecimento de um critério quantitativo para a abordagem do brilho, na expectativa de extendê-lo como critério de avaliação do aspecto estético, oferecendo meios de comparação entre peças similares aos produtos estudados.

O San Marco é uma peça de coloração escura, que possui micas ferro-magnesianas, susceptíveis à oxidação. O seu brilho mais destacado a 20° indica que a reflexão é maior, analisada ponto a ponto, traduzindo um comportamento mais homogêneo, dado que, como desdobramento, sugere comportamento mais destacado à sombra, e aponta para uma melhor aplicação estético-decorativa em ambiente interno.

O Florence Red, cujo brilho não varia consideravelmente entre duas medições sucessivas, é a rocha de provável menor alterabilidade, confirmada pela composição mineral rica em K-feldspato. Seu destacado brilho em 60°, reforça a sugestão de uso externo mais adequado.

Os tipos Picuí Tropical, Abelha Branca e Picuí de Verinha são peças cujos valores de brilho se revelaram menos destacados. A composição quartzosa com granulometria fina caracteriza maior distribuição de micro-

fissuramento e absorção de umidade, tornando-as mais apropriadas à monitoração da variação da quantidade de brilho como critério da estimativa de alterabilidade. Entretanto, dentro do intervalo em que as medições foram feitas ainda não se detectou variação relevante.

A continuidade da monitoração permitirá busca mais minuciosa dos dados, de forma a acompanhar melhor o desempenho das amostras em estudo.

Finalmente é oportuno indicar que as amostras estudadas ainda não foram submetidas a qualquer tipo de exposição que associe agente agressivo, seja abrasão por tráfego, agentes químicos (produtos de limpeza) ou intemperismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FLAIN, Eleana Patta. 1995. **Tecnologia de Produção de Revestimento de Fachadas de Edifícios com Placas Pétreas**. Dissertação de Mestrado.

MARANHÃO, Ricardo. 1985. **Introdução à Pesquisa Mineral**. ETENE/BNB 3a. ed.

CARMONA, Cristian M. 2000. **Ocorrências de Rochas Graníticas com Fins Ornamentais na Província Borborema**. Seminário de Qualificação.

ONODERA, T. F.; ASOKA KUMARA, H. M. 1980. Relation between texture and mechanical properties of crustalline rocks. **International Associating Engineering Geology Bulletin**, v. 22, 173 – 177.

GUPTA, A. S.; SESHAGIRI RAO, K. 2000. **Engineering Geology**, v. 56, 257 – 274.

KAHRAMAN, S. 2002. **Engineering Geology**, v. 63, 347-350.

TUGRUL, A.; ZARIF, I. H. 1999. **Engineering Geology**, v. 51, 303 – 317.

DESDOBRAMENTO DE BLOCOS DE TAMANHOS DESPADRONIZADOS ATRAVÉS DE TALHA-BLOCOS

Francisco Wilson Holanda Vidal¹; Francisco José Farias Adeodato²

¹Eng° de Minas, DSc. Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT.
E-mail: fwhollanda@secrel.com.br

E-

²Eng° Civil Especialista em Máquinas e Equipamentos. Consultor do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT

RESUMO

O presente trabalho tem como alternativas de aproveitamento de blocos de pedreiras de rochas ornamentais de tamanhos despadronizados, gerando receitas para as empresas e reduzindo o impacto ambiental gerado pela deposição desordenada desses materiais. Por sua vez tem, ainda, um apelo ambiental indescritível, visto que promovera a utilização de materiais classificados como rejeitos e que hoje são gerados em quantidades muito significativas, além de cumprir as exigências das leis ambientais, tornando-se um grande desafio para os sistemas produtivos do setor

ambiental gerado pela deposição desordenada desses materiais. Por sua vez este trabalho tem, também, um apelo ambiental bastante significativo nas políticas pública do desenvolvimento sustentável, visto que promoverá a utilização de materiais classificados como rejeitos e que hoje são gerados em quantidades excessivas, além de cumprir as exigências das leis ambientais, tornando-se um grande desafio para os sistemas produtivos do setor.

INTRODUÇÃO

Nas pedreiras de rochas ornamentais verifica-se nas etapas de lavra quantidades expressivas de perdas de materiais. Embora no Brasil a exploração deste bem mineral tenha registrado nos últimos anos uma rápida evolução em método e tecnologia na extração, observa-se, ainda, uma grande quantidade de rejeitos depositados nas pedreiras e que em média atingem valores significativos da ordem de 60% do total do material aproveitado nas frentes de lavra.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar alternativas de aproveitamento dos rejeitos de pedreiras, gerando receita para as empresas, bem como reduzindo o impacto

MÉTODOS E TECNOLOGIAS NO BRASIL

A extração de mármore e granito, no Brasil, é hoje realizada principalmente em jazidas de maciços rochosos, com o uso de tecnologias avançadas. Sabe-se que, até um passado muito recente (a cerca de 20 anos), a lavra era realizada, predominantemente, nas jazidas dos matacões de granitos, explotados através de metodologia de seleção visual, com o emprego de explosivos (pólvora negra). A lavra de matacão é um método aparentemente econômico, mas a sua recuperação é extremamente baixa (menor do que 30%), onde se justifica ser utilizado no Brasil em material de alto valor comercial,

Com a exigência e crescimento da demanda de granito, em difusão na década de 90 e, ainda, com o emprego de tecnologias avançadas de corte, colocou-se em evidência as vantagens da exploração de granito em maciços rochosos (Figura 2). Na lavra dos maciços, a tecnologia de fio diamantado em comparação com as tecnologias tradicionais, atualmente utilizadas no Brasil, especialmente nos mármore e granitos, apresentam muitas vantagens.

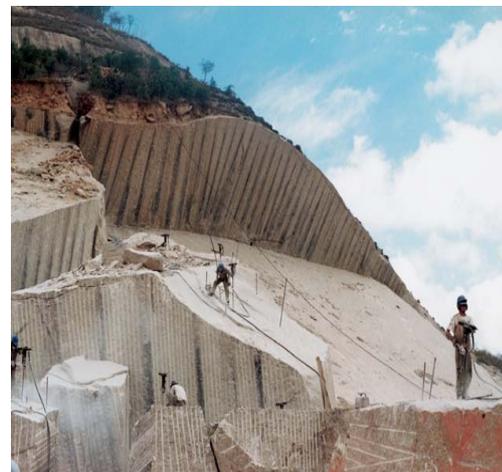
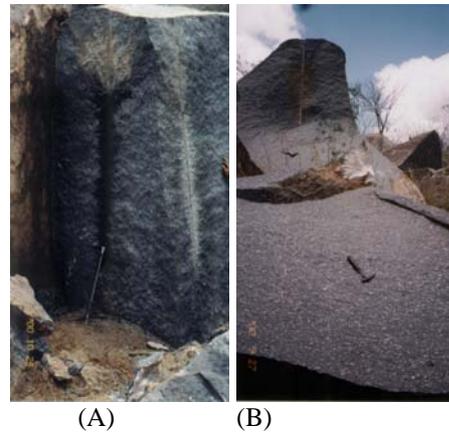


Figura 2 – Lavra de Maciço

Essas vantagens são consideradas indiscutíveis, tais como: aumento na recuperação da lavra e beneficiamento; melhor qualidade do produto pela sua

regularidade geométrica do corte e, redução dos danos no material, causados principalmente pelo uso de explosivos.

Na etapa de beneficiamento (serragem, corte, polimento e acabamento), predomina nas indústrias do parque brasileiro a serragem de blocos, através de tear. O Brasil possui cerca de 1.600 teares instalados, e detém um dos maiores parques mundiais de desdobramentos de blocos. Os estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo se destacam com cerca de 70% dos teares existentes no País, porém a quantidade de talha-blocos existentes no país são insignificantes, em relação aos teares em atividade (Figura 3).



Figura 3 - Tecnologia de Serragem através de Tear.

SERRAGEM EM TALHA-BLOCOS

Normalmente as grandes indústrias brasileiras de rochas ornamentais produzem ladrilhos de tamanhos padrões de 47,5 x 47,5cm e 40 x 40cm, para atender o mercado externo e interno, respectivamente. Estas indústrias de beneficiamento são constituídas na grande maioria de teares que requerem

Pesquisadores estudaram os rejeitos de pedreiras do Ceará, através da unidade de talha-blocos de pequeno porte para produzir ladrilhos com dimensões 30 x 30 cm e 40 x 40 cm de espessuras variando de 5 a 10 mm. A matéria-prima em tamanho de bloquetes teria que ser desbastada na forma cúbica de pequenos blocos com arestas de 0,45 metros e que apresentam boa simetria entre as duas faces adjacentes. Os blocos retirados das pilhas de rejeitos seriam transformados em bloquetes para serem beneficiados também e produzir ladrilhos de



Figura 4 – Talha-Blocos Importado

padrões de tamanho de blocos, para uma melhor produtividade e rendimento na etapa de serragem. Em virtude disto, há um acúmulo excessivo de blocos fora do padrão, em tamanhos variados, empilhados nos pátios das pedreiras sem alternativas de aproveitamento na forma de ladrilhos de rochas ornamentais e de revestimentos.



Figura 3 – Talha-Blocos de Fabricação Nacional

Nos estados do Ceará e Bahia já existem empresas que produzem ladrilhos para pisos e revestimentos nas dimensões absorvidas pelo mercado local e nacional, a partir de blocos fora de padrão e de tamanho variado. Como exemplo deste tipo de indústria destaca-se a empresa CAPIVARA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, localizada no município de Horizonte, Ceará, distante 40 Km de Fortaleza. Esta indústria de porte médio possui 2(dois) talha-blocos de fabricação Bernat Saulière, tendo uma capacidade instalada total de 5.000m²/mês de ladrilhos (Figura 4).

Existem no Ceará outras indústrias semelhantes à CAPIVARA com talha-blocos de fabricação nacional, são elas: MODULADOS DANILO MARQUES e a LITOMINAS. Os talha-blocos estão preparados para receber blocos de tamanhos variados, podendo serra-los com o comprimento de até 2,90m, com largura mínima de 0,45m e altura máxima de 1,20m. Assim são produzidos nos talha-blocos, chapas de 2,90m de comprimento com espessura de 10mm, que posteriormente deverão sofrer polimento e desdobraamento em máquina de corte, para obtenção dos ladrilhos (Figura 5 e 6).



Figura 5 – Máquina de Polimento

DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA

Ao montar uma pequena fábrica para beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos) com capacidade de produção variando na faixa de 1.000 – 2.000m³/mês em ladrilhos com dimensões de 40 x 40cm e 1cm de espessura, torna-se necessária a obtenção de matéria prima de bloquetes na forma paralelepípeda com volume de 1,5m³, em quantidade média de 25 bloquetes/mês para atingir uma produção em torno de 1500m²/mês.



Figura 6 – Máquina de Corte

O processo da indústria inicia-se com o esquadreamento dos blocos, inclusive os de menor tamanho. As vezes é necessário realizar subdivisão dos blocos. Os bloquetes resultantes dessa operação passam por processo de preparação da carga e depois vão para o talha-blocos com discos diamantados horizontais. A seguir, as tiras cortadas em formas de chapas, passam por um processo de bordas e calibração (Figura 7).



98 Figura 7 – Aplicação de bordas e calibração

Após essas etapas as chapas vão para o processo de polimento e logo a seguir de corte e bisotamento, que é constituído basicamente de máquinas que efetuam o polimento e cortam as chapas polidas transversalmente, dando origem assim ao produto acabado o ladrilho (Figura 8).



Figura 8 - Ladrilhos

CONCLUSÕES

Conclui-se que é possível aumentar a taxa de recuperação e otimizar a produção de jazidas no Brasil, utilizando seus rejeitos, com o aproveitamento de blocos de tamanhos fora de padrão para o beneficiamento em talha-blocos, podendo ser trabalhados em rejeitos acumulados, ou aqueles que estão sendo gerados nas frentes de lavra por ocasião da extração de blocos convencionais.

Visando um maior aproveitamento dos rejeitos, são propostos 2(dois) tipos de bloquetes padrão, nas formas cúbica e paralelepípeda para a produção de ladrilhos de tamanho 40 x 40 com espessura de 1cm.

O rendimento do metro cúbico (m^3) de mármore e granitos através das serragem em talha-blocos com discos diamantados pode atingir uma média de $43m^3$, enquanto que no sistema convencional (tear) a média é de $33m^2$.

Considerando o potencial existente no Brasil, muitos benefícios poderiam advir da consolidação de um grande pólo de beneficiamento dos rejeitos. No entanto, para que isto seja possível, é necessária uma maior compreensão dos fatores que dificultam o desenvolvimento dessa atividade no Brasil, de forma a se poder traçar

estratégias de políticas públicas de parcerias com o setor privado para a superação dos empecilhos que retardam o seu crescimento no mesmo nível de outros países (Itália, Espanha e Portugal).

Para tanto, defende-se a aglutinação dos diversos atores da sociedade interessados no desenvolvimento da atividade mineiro-industrial de rochas ornamentais do Brasil em prol da realização de um plano de ações integradas, na busca de soluções viáveis técnicas e políticas para o aproveitamento dos rejeitos das pedreiras disseminados no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

CAJATY, A. A. ; NETO, J. A. N. **Aproveitamento de Rejeitos em forma de Bloquetes da Pedreira Asa Branca Santa Quitéria – Ce**, p. 329 – 340 do Livro Rochas Industriais: Pesquisas geológicas, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, edição Livro Técnico, Fortaleza, 2003.

VIDAL, F.W.H, ; ADEODATO, F.J.F. **Aproveitamento de Blocos de Tamanhos Despadronizados Através de Talha-Blocos**. II Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais – Guarapari, 2005.

A INFLUÊNCIA DA ESFOLIAÇÃO NO PLANEJAMENTO DA LAVRA DE BLOCOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Elton Destro

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral
Departamento de Engenharia de Minas
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa

Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral
Departamento de Engenharia de Minas
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
trigueiro@demin.em.ufop.br

RESUMO

Esfoliações físicas ou esfoliações graníticas são estruturas normalmente encontradas em maciços de rochas ígneas ou metamórficas que tendem a ser paralelas à superfície do terreno. O espaçamento entre as fraturas aumenta com a profundidade, sendo que estas tendem a desaparecer nas áreas mais profundas do maciço rochoso.

A origem destas estruturas e seu comportamento com relação à profundidade foram estudados neste trabalho para que pudesse ser realizado um melhor planejamento da lavra de blocos de rochas ornamentais. Neste contexto, um programa chamado Regressão foi desenvolvido para estabelecer a relação entre a profundidade e o espaçamento da esfoliação granítica a partir de dados coletados na pedreira da Mineração Marilan em Itapeçerica, Estado de Minas Gerais. Este programa também pode ser utilizado para obter expressões semelhantes em outras pedreiras.

Juntamente com o programa Regressão, foi desenvolvido o Programa Mohr para realizar a análise de ruptura pelo critério de Mohr-Coulomb nas regiões mais profundas da pedreira. Este programa poderá ser utilizado para estabelecer a profundidade a partir da qual ocorrerá a ruptura da rocha.

INTRODUÇÃO

A presença das descontinuidades em um maciço rochoso é na maioria das vezes prejudicial no que se refere à recuperação de blocos que são lavrados em uma pedreira de rocha ornamental. Dessa forma, faz-se necessário um conhecimento destas estruturas do maciço, isto é, sua caracterização quanto à geometria, direção, local de ocorrência no maciço, como são geradas, suas dimensões, entre outros. O conhecimento destes elementos permite planejar de forma mais adequada a exploração dos blocos na pedreira, podendo-se desta forma promover uma lavra ordenada com uma máxima recuperação e, por conseqüência, menor geração de estéril.

Na pedreira da Mineração Marilan o fraturamento do maciço de rocha migmatítica constitui um problema sério, tendo conseqüência direta na recuperação dos blocos que são explotados. Sendo este um problema também encontrado em muitas outras empresas que atuam na lavra de blocos de rocha ornamental, procurou-se fazer um estudo voltado para a pedreira da Mineração Marilan, mas que resultasse em uma metodologia que pudesse ser aplicada em outras regiões, cujo fraturamento precoce do maciço prejudica a recuperação dos blocos, inviabilizando, até mesmo, sua extração.

OBJETIVOS

Através de visitas técnicas e da literatura nota-se que, de uma maneira geral, o setor de extração de rochas ornamentais é carente no que diz respeito ao acompanhamento técnico de suas atividades. Sendo assim, o planejamento adequado destas atividades, com base em dados topográficos, litológicos e estruturais, torna-se uma necessidade para um melhor desempenho dos trabalhos executados na pesquisa e na lavra.

Neste contexto, um dos objetivos deste trabalho foi verificar a forma mais adequada de se reduzir a perda de material devido a presença de descontinuidades no maciço, no caso, as fraturas denominadas de esfoliação granítica. Esta otimização poderá ocorrer através de um planejamento adequado da lavra destes blocos.

Os elementos mais investigados foram a **origem** destas fraturas e seu comportamento com relação à **profundidade** na pedra. O primeiro elemento permitiu fazer um planejamento que teve como objetivo minimizar o surgimento das fraturas. O segundo elemento indicou a forma mais adequada de se lavar os blocos em função do espaçamento destas fraturas nas diversas profundidades da pedra.

Aplicação para a indústria

Uma vez estabelecidas as técnicas de planejamento da lavra de blocos de rocha ornamental, levando-se em conta características estruturais e dados litológicos do maciço, as mesmas poderão ser utilizadas para outras frentes de lavra, visto que o problema das descontinuidades é comum nos maciços graníticos.

Outras aplicações também significativas para a indústria são: a utilização de “softwares” gráficos na estimativa das reservas lavráveis de rocha

ornamental, cuja utilização permitirá a realização dos trabalhos mais rapidamente, com maior precisão e com menores custos; determinação da relação profundidade *versus* espaçamento das fraturas e análise de ruptura nas frentes de lavra.

METODOLOGIA DO TRABALHO

Inicialmente foi feito um estudo para se proceder o enquadramento da área produtora no contexto geológico da região. Em seguida realizou-se um mapeamento geológico-estrutural com o intuito de se caracterizar o maciço rochoso, englobando informações de natureza petrográfica e principalmente estrutural. Estes dados foram, então, tratados utilizando-se o Programa Regressão, utilizando-se a linguagem de programação Delphi.

O Programa Regressão foi desenvolvido especialmente para traçar a curva que relaciona profundidade e espaçamento das fraturas na pedra, através de análise de regressão. Desta forma, o planejamento da extração dos blocos fica facilitado, pois a relação encontrada permite definir o local e a maneira mais adequada de se lavar o bloco de rocha ornamental, numa tentativa de se evitar as perdas devido a presença das fraturas.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A pedra da Mineração Marilan localiza-se no distrito de Marilândia, município de Itapeçerica, Estado de Minas Gerais, e possui coordenadas 20° 21' 53" latitude sul e 44° 55' 39" longitude oeste. Dista 144 km de Belo Horizonte e o acesso pode ser feito, a partir da capital, pelas rodovias BR 381 (Fernão Dias), BR 262 e MG 050 até a cidade de Divinópolis, e então mais 25 km por rodovia asfaltada até o distrito de Marilândia (Figura 1).

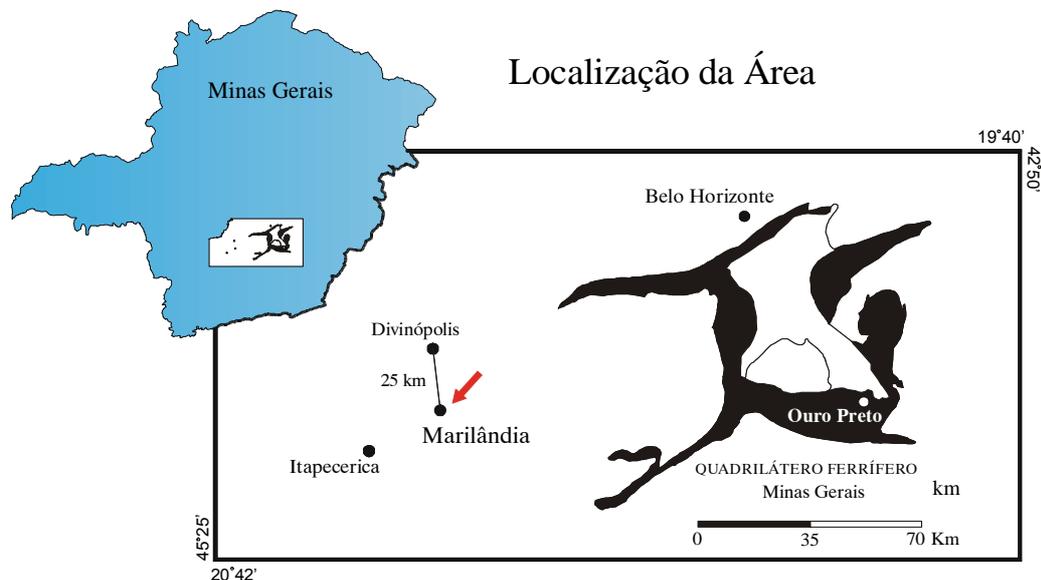


Figura 1 – Mapa de localização da pedra da Mineração Marilândia.

A área estudada está localizada à oeste do Quadrilátero Ferrífero, e é regionalmente dominada por rochas granito-gnáissicas e gnáissico-migmatítica, pertencentes ao Complexo Barbacena. O Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais compõe-se das seguintes unidades litoestratigráficas: o Embasamento Cristalino, o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi.

A ORIGEM DA ESFOLIAÇÃO GRANÍTICA NOS MACIÇOS ROCHOSOS

Uma característica comum de muitos corpos graníticos é a estrutura denominada de **esfoliação física** ou **esfoliação granítica** (“**sheet structure**”). Geradas por deslocamentos devido ao alívio de sobrecarga, estas estruturas dividem a rocha em lentes, placas ou lâminas. Muitas destas fraturas são curvas e outras são essencialmente planas; todas, no entanto, tendem a ser paralelas à superfície do terreno. (Farmin, 1937; Bradley, 1963; Price, 1966; Johnson, 1970; Nemat-Nasser e Horii, 1982; Suppe, 1985; Pluijm e Marshak, 1997).

Assim, formas topográficas, tais como domos, tendem a ser envolvidas por este tipo

de fraturas semelhante às camadas externas de um cebola. Este tipo de fratura se apresenta com freqüência em pedreiras graníticas, e constitui um problema sério no que se refere à extração de blocos de rochas ornamentais, visto que as perdas provocadas pela presença destas fraturas podem ser bastante significativas.

Enquanto muitas juntas são orientadas a qualquer direção que varia da horizontal à vertical, a esfoliação granítica tende a acompanhar a forma do terreno. Estas estruturas são independentes de qualquer outra estrutura formada anteriormente na rocha. Ela é independente de corpos intrusivos como os diques, e estruturas primárias pegmatíticas, e orientação mineralógica, todas sendo interceptadas por estas estruturas em algum lugar.

Causas do fraturamento

Este tipo de fraturamento, que normalmente é encontrado nas pedreiras graníticas, parece estar relacionado com a energia armazenada na rocha, que é responsável pelo rompimento súbito do granito mais recentemente exposto, ou causam pequenos deslocamentos no chão ou nas laterais da pedreira.

No entanto, o aparecimento destas fraturas tem sido atribuído a outras causas, incluindo esforços compressivos regionais ou locais impostos após a cristalização, ação mecânica devido ao aquecimento e resfriamento e à influência da vegetação. Jahns (1943) *apud* Johnson (1970), examinou cada uma destas possíveis causas e concluiu que elas são de menor importância. Ele acredita que estas estruturas são o resultado de esforços que surgem devido a remoção do carregamento que era imposto pelo material superior que fora retirado, sendo a esfoliação granítica uma expressão do **alívio da pressão** do confinamento primário.

Gilbert *apud* Johnson (1970), declara estar convencido de que estas estruturas são posteriores à modelagem da topografia atual. Um argumento que ele apresenta é que estas fraturas são limitadas a pequenas profundidades. Ele notou que elas se estendem a uma profundidade de 15 m no Domo Half (Yosemite National Park, Califórnia, EUA), e cerca de 30 m em outros domos. Se estas fraturas são originais, pensou ele, era de se esperar que elas continuassem indefinidamente para o interior do domo.

A fim de determinar a causa deste tipo de fraturamento, Gilbert (*op. cit.*) analisou manifestações familiares de contração e expansão, e utilizou esta última como causa para o aparecimento das fraturas.

Expansão devido ao alívio de sobrecarga

O efeito da contração é ilustrado pela retração sofrida pelas argilas após o ressecamento e também pelo resfriamento de lavas. Ressecamento e resfriamento

iniciam-se na superfície e progredem, causando rachaduras **normais** à superfície separando os materiais em **colunas**. Por outro lado, efeitos da expansão são ilustrados pela esfoliação das rochas quando submetidas ao intemperismo ou quando elas são rapidamente aquecidas, como durante um incêndio em uma floresta. Lascas de rocha são lançadas de planos aproximadamente paralelos à superfície da rocha. Assim, Gilbert (*op. cit.*) conclui que a esfoliação granítica tem uma origem mais próxima da esfoliação produzida pelo calor, que é atribuída à **expansão**.

A razão para a expansão do granito é o descarregamento. Em suas palavras: "Quando o magma que deu origem ao granito se resfriou, ele estava a uma determinada profundidade e, portanto, sujeito a tensões compressivas devido a presença das rochas mais velhas sobrejacentes. Estes esforços eram, naturalmente, balanceados por tensões internas expansivas, responsável pela atual expansão do maciço granítico caso a pressão externa seja diminuída. À medida que o carregamento vai gradualmente sendo removido, a tensão compressiva vai diminuindo e a expansiva torna-se predominante. Dessa forma ocorre a divisão de porções do maciço através do desenvolvimento de planos aproximadamente paralelos à superfície a fim de aliviar as deformações que ocorrem no maciço".

Pluijm e Marshak (1997) também atribuem como origem da esfoliação granítica o alívio de sobrecarga (diminuição das tensões compressivas devido à erosão das rochas sobrejacentes ao corpo granítico) associado aos esforços resultantes do resfriamento no interior da câmara magmática (tensão residual).

Tensão residual é uma tensão que existe na rocha mesmo que ela não esteja sujeita a carregamento externo. Segundo estes autores, para o caso de rochas plutônicas (rochas que constituem a maioria dos maciços dos quais são exploradas as rochas ornamentais), esta tensão residual se desenvolve devido às propriedades termais. Assim, se durante o resfriamento a rocha intrusiva sofrer uma redução de volume

maior que a rocha encaixante, e considerando que as duas estão unidas no contato da câmara magmática, a deformação diferenciada sofrida por estas rochas irá criar uma tensão de tração que irá atuar perpendicularmente ao contato intrusiva-encaixante. No entanto, em profundidade, tensões compressivas devido ao peso das rochas sobrejacentes se opõe às tensões de tração, mas próximo à superfície as tensões residuais que atuam tracionando a rocha ígnea excedem ao peso da rocha sobrejacente e causam o fraturamento paralelo à superfície do terreno.

O aparecimento das fraturas também pode ser explicado utilizando-se o Critério de Griffith, cuja hipótese tem sido comprovada através de trabalhos experimentais em vidros e resinas.

Critério de Griffith

O surgimento das fraturas foi analisado em um material denominado de substância de Griffith, que se constitui de um corpo que possui um grande número de fraturas orientadas aleatoriamente, mas suficientemente afastadas, tal que a máxima tensão em torno de uma pequena fratura não é afetada pelas tensões induzidas pela presença das outras.

Bombolakis e Hoek *apud* Johnson (1970), verificaram experimentalmente que as fraturas que partem das extremidades de uma abertura inicial crescem tendendo a se curvarem até assumirem uma direção paralela à tensão de compressão máxima σ_1 (ou P). A distância de propagação destas novas fraturas é controlada pelo comprimento da abertura inicial e a intensidade das tensões principais P (ou σ_1) e Q (ou σ_3).

MODELOS EXPERIMENTAIS E A ORIGEM DA ESFOLIAÇÃO GRANÍTICA

Rochas e outros sólidos frágeis freqüentemente se rompem quando submetidos à compressão axial ao longo de planos praticamente paralelos à direção de compressão. Experimentos realizados por Brace e Bombolakis (1963) *apud* Nemat-

Nasser e Horii (1982) e por Hoek e Bieniawski (1965) *apud* Nemat-Nasser e Horii (1982) em placas de vidro e resina contendo fendas orientadas sob diversos ângulos com relação à direção de compressão axial, revelaram que o deslizamento das faces das ranhuras não resultou em um crescimento coplanar das mesmas, mas produziu nas extremidades das fendas um prolongamento que se desviava de altos ângulos do plano de deslizamento das fendas iniciais. Estas fraturas continuaram a crescer com o aumento da compressão axial, curvando-se até assumirem uma direção paralela com a direção da compressão. Assim, estes experimentos mostraram claramente que mesmo que uma fenda formasse um ângulo oblíquo com a superfície livre mais próxima, surgiam fraturas a partir das extremidades da ranhura inicial quando esforços de compressão paralelos a esta superfície passavam a atuar, não sendo observada qualquer tendência das novas fraturas geradas se orientarem na direção de atingirem a superfície livre. De fato, elas se curvavam e seguiam numa direção paralela a ela. Com base nestas observações experimentais, o problema da esfoliação granítica foi analisado.

De forma análoga ao comportamento das fendas nas placas de vidro e resina, os prolongamentos horizontais que surgem das ranhuras pré-existent no maciço rochoso e que estão submetidas à compressão tectônica que é paralela à superfície do terreno, propagam-se paralelamente à esta superfície na direção da compressão, sem que haja tendência de se curvarem para fora do maciço. Esta é uma análise que fornece uma simples e clara explicação da origem da esfoliação granítica e do relativo paralelismo do plano destas fraturas com a superfície atual do terreno.

Nestas experiências utilizaram-se lâminas de vidro e placas feitas com *Columbia Resin CR39*. Embora as ranhuras iniciais em lâminas de vidro possam ser feitas mais facilmente riscando o vidro de um lado com uma peça diamantada e batendo levemente do outro lado com um martelo pequeno, foi verificado que, devido à natureza frágil das placas de vidro, ele não constituía um material ideal para estudo das

fraturas cuja geração envolvia grandes esforços compressivos. Contudo, o comportamento das fraturas no vidro era similar àqueles observados nas placas feitas com a resina.

As placas de resina utilizadas nos ensaios possuíam 6 mm de espessura. Pequenas fendas foram feitas nestas placas utilizando-se de uma lâmina de 0,4 mm e então as mesmas foram colocadas entre duas outras placas de latão de 0,2 mm de espessura. A orientação inicial da fenda é de 45° com relação à compressão axial, e nenhuma tensão lateral foi aplicada. As amostras utilizadas nos ensaios possuem perfis diferentes tipo “osso de cachorro” e “barril”.

Deve-se notar que o perfil do tipo “osso de cachorro” produz uma tensão lateral compressiva quando submetido à compressão axial, fazendo com que a fratura tenha um crescimento estável. Já na placa com perfil na forma de “barril”, existiu uma tensão lateral de tração, sendo responsável pela instabilidade no crescimento da fratura (o comprimento da fratura gerada foi maior que aquela que se desenvolveu na placa com perfil “osso de cachorro”). As ranhuras iniciais fazem ângulos oblíquos com a face livre, e o experimento mostra claramente que não há tendência das fraturas crescerem em direção à esta superfície (elas se curvam e seguem aproximadamente o contorno da placa).

Com relação à esfoliação granítica encontrada nos maciços rochosos, os resultados analíticos e experimentais suportam a hipótese do alívio de carga para o aparecimento das fraturas, mas não considera a existência de uma tensão expansiva predominante, como proposto por Gilbert *apud* Johnson (1970) e por Pluijm e Marshak (1997). A idéia atual considera a presença de inúmeras trincas e outras irregularidades nas rochas, sendo razoável esperar que nas extremidades destas trincas possam ser nucleadas fraturas como as descritas anteriormente, que se curvam tendendo a se orientarem segundo a direção de maior esforço compressivo. Quando a superfície do terreno tem um perfil adequado (forma de “barril”), tensões normais à direção

de máxima compressão tectônica podem aparecer, o que resulta no crescimento **instável** da fratura. Com o aumento da profundidade, a pressão da rocha sobrejacente aumenta, aparecendo, assim, esforços compressivos verticais. Desta forma, as fraturas que surgem a partir das extremidades das trincas, crescem de forma **estável**, atingindo um comprimento cada vez menor.

Outro ensaio foi realizado mostrando o surgimento de uma fratura a partir da coalescência¹ de fraturas menores, modelo admitido para a origem da esfoliação granítica. Submetida à compressão axial, fraturas começam a ser nucleadas nas extremidades das ranhuras pré-existentes, crescendo na direção da tensão compressiva.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESFOLIAÇÃO GRANÍTICA

Concentração das tensões em torno de cavidades e fendas

Um furo em um corpo sujeito a um estado de tensões provoca um efeito marcante nas regiões vizinhas. As tensões que eram suportadas pelo material retirado do furo, serão, agora, suportadas pelo material ao redor deste furo, e serão maiores perto dele. Como as tensões nas vizinhanças serão maiores que aquela aplicada nos limites do corpo, diz-se que o furo causou uma concentração de tensão (SC – “Stress Concentration”) na sua vizinhança. Neste contexto, define-se concentração de tensão como sendo a razão da tensão em um determinado ponto pela tensão uniforme aplicada nos limites do corpo.

Em uma placa com um furo circular central sobre a qual está atuando uma tensão uniforme σ_{yy} é possível mostrar as relações entre a concentração de tensão com a distância ao contorno do furo circular. Analisando a variação da concentração de tensão com a distância **vertical**, isto é, distância segundo a direção y ($\theta = 90^\circ$), pode-se notar que a tensão na direção radial

¹ Junção de partes que se encontravam separadas.

σ_{rr} é nula no contorno do furo e é aproximadamente igual ao valor da tensão aplicada σ_{yy} na distância $r = 3a$, isto é, a uma distância de três vezes o raio (σ_{rr} tende a se igualar à tensão σ_{yy} aplicada nos limites superior e inferior da placa). Já a tensão tangencial $\sigma_{\theta\theta}$ é aproximadamente igual a zero nesta distância. Este valor, de $\sigma_{\theta\theta}$, é -1 na posição $r = a$ e $\theta = 90^\circ$, de tal forma que se uma tensão compressiva σ_{yy} é aplicada, ocorrerá uma tração no contorno do furo nessa região, com magnitude igual à tensão aplicada ($\sigma_{\theta\theta} = -\sigma_{yy}$).

Examinando, agora, a variação da concentração de tensão com a distância segundo a direção **horizontal** ($\theta = 0^\circ$), observa-se que a tensão radial σ_{rr} é zero nas proximidades do furo ($r = a$), aumentando para $\sigma_{yy}/2$ para $r = 1,5a$, voltando novamente a se anular a uma distância de aproximadamente três vezes o raio, valor correspondente à tensão horizontal aplicada σ_{xx} , que é zero nos limites laterais da placa. Por outro lado, a tensão tangencial $\sigma_{\theta\theta}$ é igual a três vezes a tensão aplicada nos limites da placa. Desta forma, se a tensão σ_{yy} for de compressão, $\sigma_{\theta\theta}$ também será compressiva, mas de intensidade três vezes maior. No entanto, ela diminui tendendo ao valor da tensão aplicada, σ_{yy} , para uma distância de três vezes o raio.

Uma análise das tensões nas vizinhanças de um furo circular indica que a distribuição das tensões na placa é significativamente afetada por ele somente dentro de uma área de quatro vezes o raio medindo-se a partir do centro deste furo, e que ele pode ser considerado um efetivo concentrador de tensão.

Relação entre a profundidade e o comprimento das fraturas

Admitindo que o corpo granítico se solidificou a uma profundidade **D** e que nesta profundidade ele estava sujeito a uma pressão hidrostática $p_{xx} = p_{yy} = p_{zz} = -\gamma D$, onde γ é o peso específico da encaixante superior, e que este corpo granítico venha a ser exposto em superfície em função da erosão, e ainda, que durante a erosão não

ocorram deformações horizontais, Johnson (1970) mostra que:

$$\sigma_{xx} = \gamma \left[\frac{\lambda}{2G + \lambda} (D - z) - D \right]$$
, sendo σ_{xx} a tensão horizontal que o corpo granítico está sujeito na profundidade z , **G** e λ são as constantes de Lamé:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \text{e} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \nu \text{ é}$$

o coeficiente de Poisson e **E** o módulo de Young.

Assumindo que as fraturas se propagam quando a tensão em suas extremidades alcançam o valor crítico, a equação

$$\sigma_\beta = \frac{2ac(P+Q) + (Q-P)[(a+c)^2 \cos 2\beta - (c^2 - a^2)]}{a^2 + c^2 - (c^2 - a^2) \cos 2\beta}$$

pode ser utilizada como critério de propagação destas fraturas (σ_β é a tensão normal que atua paralelamente à superfície da fratura). Assim, **c** passa a representar a metade do comprimento da fratura, **a** é a metade da sua largura, $P = \sigma_{xx}$ (tensão horizontal) e $Q = \sigma_{zz} = -\gamma z$ (a tensão normal vertical é proporcional à profundidade z abaixo da superfície). O ângulo β é zero ou 180° nas extremidades da fratura e, assim, a tensão tangencial nestas extremidades é:

$$\sigma_\beta = Q \left(1 + 2 \frac{c}{a} \right) - P = \sigma_{zz} \left(1 + 2 \frac{c}{a} \right) - \sigma_{xx}$$

Substituindo σ_{zz} e σ_{xx} tem-se:

$$\sigma_\beta = -\gamma z \left(1 + 2 \frac{c}{a} \right) - \gamma \left[\frac{\lambda}{2G + \lambda} (D - z) - D \right]$$

Dividindo por γD , encontra-se:

$$\frac{\sigma_\beta}{\gamma D} = \left(1 - \frac{z}{D} \right) \left(1 - \frac{\lambda}{2G + \lambda} \right) - 2 \frac{z}{D} \frac{c}{a}$$

Explicitando $\frac{c}{a}$ e fazendo $\gamma D = -p_{zz}$, tem-se:

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{D}{z} - 1 \right) \left(\frac{1-2\nu}{1+\nu} \right) + \frac{\sigma_\beta}{p_{zz}} \left(\frac{D}{z} \right) \right]$$

que fornece a relação entre o comprimento da fratura e sua abertura a uma determinada profundidade z .

Utilizando-se a expressão acima para um coeficiente de Poisson igual a 0,2, pode-se traçar gráficos em que se observa que o comprimento da fratura aumenta muito rapidamente próximo à superfície do terreno (profundidades menores que 1/50 da profundidade à qual o granito foi formado) e, à medida que a profundidade aumenta, seu comprimento diminui significativamente, principalmente para $z/D > 0,02$. É de se esperar, portanto, uma diminuição no comprimento das fraturas com o aumento da profundidade.

Análise do espaçamento das fraturas

Como visto, esfoliações graníticas são juntas que aparecem nos maciços rochosos e que são aproximadamente paralelas à superfície atual do terreno. O espaçamento destas fraturas aumenta com a profundidade e tendem a desaparecerem a grandes profundidades. Jahns (1943) *apud* Johnson (1970), medindo o espaçamento destas fraturas em uma pedreira concluiu: "...os dados indicam que as fraturas tendem a se espessarem com o aumento da profundidade, de modo que nós podemos imaginar que em alguma profundidade não haverá mais fraturas".

Certamente uma das mais impressionantes características das fraturas nas pedreiras é que elas possuem um pequeno espaçamento próximo à superfície do terreno, e espaçamento de vários metros nas regiões mais profundas.

Uma relação entre o espaçamento das fraturas com a profundidade é dada pela expressão (Johnson, 1970):

$$t = \left(\frac{2}{\gamma D_o} \right)^2 T(2G + \lambda) \frac{1}{[1 - (z/D_o)]^2}$$

onde t é o espaçamento entre as fraturas na profundidade z , D_o é a profundidade crítica (profundidade abaixo da qual não há

fraturas), γ é o peso específico da encaixante superior, T é a energia de superfície por unidade de área, G e λ são as constantes de Lamé:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \text{e} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

sendo ν o coeficiente de Poisson e E o módulo de Young.

Fazendo $a = \left(\frac{2}{\gamma D_o} \right)^2 T(2G + \lambda)$ como sendo uma constante da expressão, a relação anterior se reduz a:

$$t = \frac{a}{[1 - (z/D_o)]^2}$$

Analisando a expressão $t \times z$, pode-se concluir que o espaçamento das fraturas próximas à superfície tende a ser mínimo, pois z tende a zero. A relação mostra também que este espaçamento aumenta rapidamente com a profundidade, tendendo a infinito na profundidade crítica D_o .

A expressão teórica que relaciona espaçamento e profundidade está de acordo com as observações de campo. No entanto, deve-se notar que o espaçamento das fraturas próximo à superfície é bem diferente daquele sugerido pela curva teórica (as fraturas possuem menor espaçamento na situação real). Segundo Johnson (1970), este desvio pode ser causado pela curvatura das fraturas próximas à superfície.

Utilizando-se o Círculo de Mohr e o Critério de Ruptura de Coulomb, pode-se fazer uma análise da possibilidade de ruptura em taludes de uma lavra a céu aberto. Tal método é denominado de Mohr-Coulomb.

CONCLUSÕES

Várias teorias têm sido propostas para explicar a origem da esfoliação, mas a tendência parece ser atribuí-la a fraturas induzidas pela variação do carregamento aplicado. A idéia básica reside no fato de que a pressão exercida pela rocha subjacente é diminuída devido à erosão, e desta forma as

fraturas se desenvolvem pela ação de forças compressivas que atuam paralelamente à superfície atual do terreno, obedecendo ao critério de ruptura de Griffith.

No contexto da colocação feita por Jahns (1943) *apud* Johnson (1970), quando medindo o espaçamento das fraturas em algumas pedreiras concluiu: “...os dados indicam que as fraturas tendem a se espessarem com o aumento da profundidade, de modo que nós podemos imaginar que em alguma profundidade não haverá mais fraturas”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRACE, W. F. e BOMBOLAKIS, E. G. (1963). *A note on brittle crack growth in compression*, J. Geophys. Res., v. 68, n. B12, June, p. 3709-3713.

BRADLEY, W. C. (1963). *Large-Scale Exfoliation in Massive Sandstones of the Colorado Plateau*, The Geol. Soc. of America, Bulletin, v. 74, n. 5, p. 519-528.

FARMIN, R. (1937). *Hypogene Exfoliation in Rock Masses*, J. of Geology, v. 45, n. 6, p. 625-635.

JOHNSON, A. M. (1970). *Physical Processes in Geology*, Freeman, Cooper & Company, San Francisco, p. 357-399.

NEMAT-NASSER, S. e HORII, H. (1982). *Compression-Induced Nonplanar Crack Extension With Application to Splitting, Exfoliation, and Rockburst*, J. Geophys. Res., v. 87, n. B8, August, p. 6805-6821.

PLUIJM, B. A. van der e MARSHAK, S. (1997). *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics*, Mc Graw-Hill, p. 128; 134.

PRICE, N. J. (1966). *Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock*, 1. ed., Pergamon Press Ltd., Oxford, p. 160-163.

SUPPE, J. (1985). *Principles of Structural Geology*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, p. 198-201.

Análise Espacial da Rede de Fraturas nas Rochas Cristalinas e suas Implicações na Lavra de Rocha Ornamental.

Tumkur Rajarao Gopinath, Aarão de Andrade Lima, Daniele Câmara Alexandre Morais e Milena Swilly Albuquerque Costa.

Dept. Mineração e Geologia, UFCG, Campus I, C.P.10009, Campina Grande, PB.
tumkur@uol.com.br

RESUMO

A presença de fraturas é observada em quase todas as litologias e frequentemente exerce grande influência sobre as propriedades geomecânicas das rochas. Natureza de dados obtidos sobre as fraturas e a maneira como coletados e analisados geralmente controlam tipos obras de engenharia a serem executadas. Conforme a recomendação de alguns autores, investigação da rede de fraturas resultante de cruzamento das fraturas é mais importante na estabilidade de maciço rochoso. Assim a lavra de maciço rochoso nas aplicações como rocha ornamental exige um estudo detalhado de fraturas para minimizar prejuízo e aumentar a recuperação. Os objetivos deste trabalho são para mapear as fraturas nas rochas cristalinas da região de Campina Grande onde se encontram diversas pedreiras com lavra de rocha ornamental e analisar a variação espacial na rede de fraturas e sua influência sobre as propriedades geomecânicas das rochas. A área pesquisada abrange um raio de 50 km em torno da cidade de Campina Grande, onde se encontram rochas cristalinas fraturadas compostas principalmente granito, granito-gnaiss e gnaiss-migmatito. Todos os dados sobre as fraturas foram tratados e avaliados com técnicas de geoestatística e outros métodos quantitativos. As fraturas extraídas de imagens de radar mostram variação espacial sistemática refletindo comportamento relacionado ao tipo litológico e/ou diferentes episódios de deformação. Os dados de azimutes obtidos no campo também mostram boas estruturas variográficas com variação espacial dentro de áreas locais. Alguns tipos de fraturas tendem a ocorrer em todos os tipos litológicos da região e outros tipos

ocorrem localmente nas litologias específicas. A frequência de ocorrência ou espaçamento entre fraturas varia conforme a litologia. Neste trabalho de pesquisa chegou-se a conclusão de que é possível prever comportamento das fraturas na área composta de um tipo litológico homogêneo como granito e torna difícil nas áreas de diversidades litológicas complexas.

INTRODUÇÃO

As rochas ocorrem na natureza sob enorme variedade, cada uma possuindo uma faixa mineralógica e texturas típicas, constituindo, pois, massas rochosas heterogêneas com estruturas próprias, espessuras variáveis e exibindo deformações que aconteceram sob condições físicas determinadas.

O termo maciço rochoso corresponde a porções extensas de rochas encontradas nas suas condições naturais, apresentando desde dezenas até centenas de metros de extensão (Frazão, 2002). Nestes, a heterogeneidade de estruturas geológicas provenientes das características de estados de tensão, possuem algum tipo de descontinuidade: microfissuras e/ou microfissuras, que prepondera nas propriedades físicas e mecânicas das rochas. As áreas de discordâncias podem possuir planos de camada, foliação, planos de xistosidade, dobras, fraturas e zonas de cisalhamento, que influenciam decisivamente no resultado das atividades extrativas.

O setor de rochas ornamentais tem apresentado um dinamismo sem precedentes nos últimos anos, tanto na evolução da produção e do mercado, quanto

na modernização de equipamentos de lavra e para o beneficiamento. As inovações tecnológicas tem sido geralmente inseridas no setor produtivo por meio de importação de equipamentos, ficando atrás os aspectos ligados as características intrínsecas de cada maciço rochoso. Na pesquisa geológica de detalhe a detecção e defini as características de fraturas representa o aspecto crucial ao sucesso de extração de rocha ornamental. As discontinuidades podem estar fechadas, abertas ou preenchidas, dificultando assim a ação nos parâmetros de desmonte de rocha, como, por exemplo, na ação dos explosivos, que pode transmitir diversos graus de energia, obtendo uma fragmentação de rocha indesejada, que denominamos ma tações, que variam com dimensões acima de 100 mm. Diversos trabalhos relacionados sobre fraturas nas rochas cristalinas de ponto de vista hidrogeológica, geomecânica e outras encontram se na literatura (Costa & Silva ,1997; Manoel Filho1996; Jardim de Sa, 2000 ; Doughty & Karasaki, 2002; Gudmundsson, 2002).

O trabalho contempla uma análise detalhada das estruturas geológicas tais como falhas, fraturas e outras discontinuidades encontradas nas rochas com o objetivo de oferece subsidio para lavra e extração de rochas ornamentais. A área de pesquisa é situada abrangendo um raio de 50 km em torno da cidade de Campina Grande, onde se encontram rochas

cristalinas propícias para utilização como rocha ornamental.

METODOLOGIA

Foram adotadas seguintes metodologias para alcançar os objetivos deste projeto: (1) Aquisição de imagens de fotografia aéreas, radar e Landsat da área de estudo. (2) Extrair as informações sobre as fraturas, lineamentos e drenagens a partir de imagens e transferir essas informações para folhas separadas. (3) Elabora mapas de fraturas, lineamentos e drenagens com as informações extraídas das imagens, (4) Preparação de mapas topográficos necessários para a execução de levantamentos geológicos no campo. (5) Localiza através de GPS latitudes e longitudes de cada afloramento a ser pesquisada. (6) Em cada afloramento foram feitos seguintes levantamentos: Determina a direção, direção de mergulho e angulo de mergulho de foliação, fratura e outras estruturas planares e lineares; espaçamento entre as fraturas; persistência das discontinuidades; a natureza da superfície dos planos de fraturas; grau de alteração de plano de fraturas; abertura de fraturas; natureza de preenchimento; infiltrações ao longo de discontinuidades; presença de conjuntos de fraturas numa área especifica; tamanho do bloco resultante devido presença de discontinuidades; observa todas as características litológicas das rochas; coleta as amostras para os ensaios no laboratório.



Figura 1: Mapa de Localização da área de Estudo.

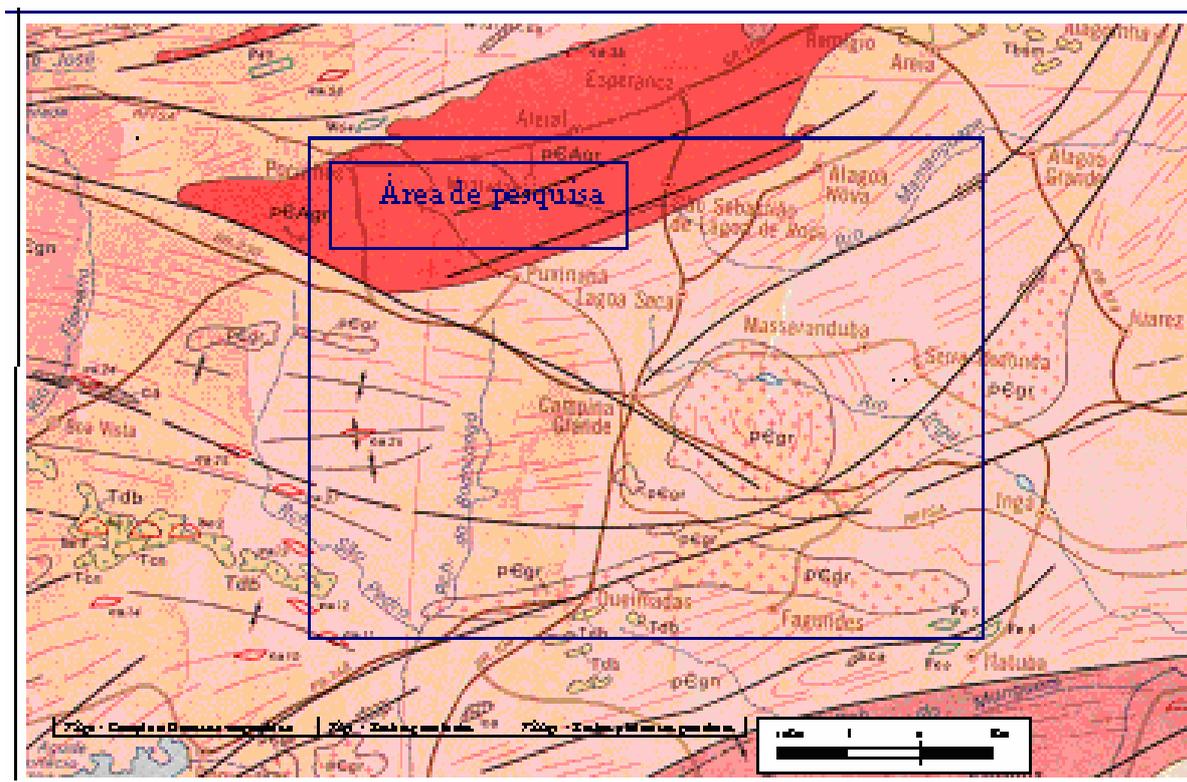


Figura 2: Mapa geológico da região de Campina Grande com área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o trabalho de campo foram registradas tipos de fraturas observadas neste estudo. Algumas fotografias da área de estudo, ilustrando as fraturas analisadas. De maneira geral, nos afloramentos estudados verificamos a presença de fraturas de alívio

que é um tipo de fratura que ocorre devido à tensão provocada na rocha, fraturas contínuas e em alguns casos fraturas preenchidas, geralmente por pegmatito ou quartzo (Figuras .3).

Os dados coletados no campo, tais como, azimutes de fraturas, direção e ângulo de mergulho foram analisados através do programa *STEREONET*, fornecendo a distribuição espacial das direções preferenciais e secundárias dos referidos parâmetros geológicos dentro das áreas pesquisadas que é denominado diagrama de roseta. Para a confecção do diagrama de roseta da área referente aos afloramentos encontrados entre Campina Grande -Riachão de Bacamarte-Massaranduba (Figura 4). Foi utilizada uma média de 100 valores de cada litologia para elaborar diagrama de roseta



Figura 3 As fraturas subverticais e subhorizontais nas rochas graníticas.

A textura influencia de vários modos, sendo que, as rochas de textura granular grosseira são menos resistentes que as de texturas granular fina, em virtude da predominância, nas primeiras, dos planos de fraqueza representados pela superfície de clivagem dos minerais (como por exemplo o feldspato). Por essa razão, os pegmatitos e granitos porfiroblásticos (microgranitos) são mais quebradiços do que os granitos de granulação fina. Por outro lado, as rochas de textura granular são mais resistentes do que as rochas de textura lepidoblástica (com abundância de minerais lamelares; ex: micas). As estruturas litológicas tais como foliação, xistosidade, bandeamento e outras

(Figura 4). Análise comparativa das direções principais das fraturas demonstra diferenças significativas entre as litologias pesquisadas.

A análise espacial de fraturas para detectar correlação entre elas com variogramas implica que fraturas específicas ou um conjunto de fraturas são semelhantes ou similar as fraturas adjacentes próximas e menos semelhantes com as que situam mais distantes. As semelhanças entre as fraturas diminuem com aumento na distância entre as fraturas ou família de fraturas.

influenciam bastante no desenvolvimento de fraturas nas rochas. Ainda, para uma dada forcas deformacionais as litologias tem respostas diferentes dependendo de textura, estrutura e composição mineralógica das rochas. As propriedades e características de fraturas individuais e a rede de fraturas são distintas em que nas fraturas individuais os fatores da importância são orientação, comprimento, abertura, rugosidade, morfologia da superfície de plano e local. No caso de rede de fratura fatores de destaques são: grau de interligação, tipos de terminação, heterogeneidade espacial, anisotropia, relação de entrocamento, frequência ou intensidade de fraturas.

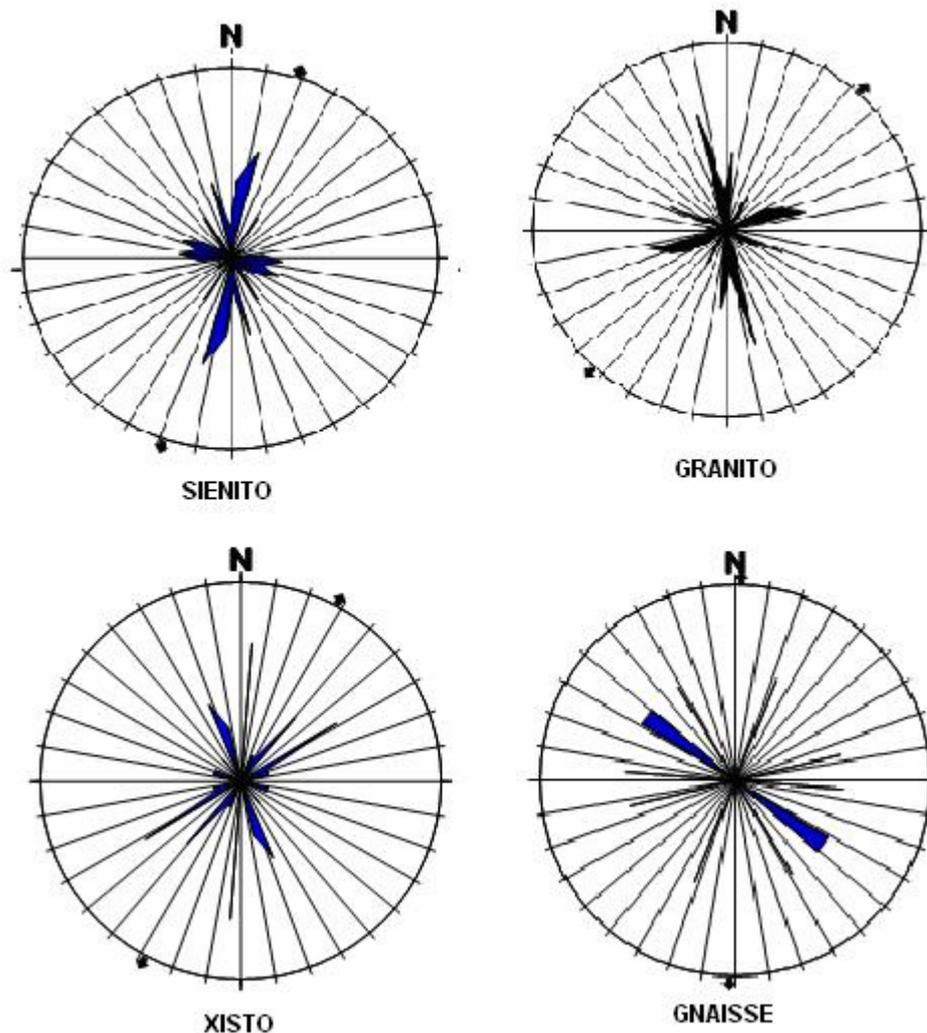


Figura 4. - Diagrama de Roseta mostrando direções preferenciais das fraturas para as litologias encontradas na área.

A partir de dados coletados no campo, como direções das fraturas, foram confeccionados mapas de fraturas das áreas pesquisadas. Para facilitar a interpretação, a área pesquisada foi subdividida em subáreas. Foram elaborados mapas de rede de fraturas semelhantes da Figura 5 para todas as áreas e aqui mostrado de uma das áreas por limitação de espaço. Tabela 1 mostra um exemplo de dados sobre as fraturas obtidas no campo para a litologia sienito. A continuidade de fratura varia

conforme direção e o espaçamento entre as fraturas indicadas como freqüente para as fraturas com menos de 1m de espaçamento. Algumas fraturas são continua na toda extensão de afloramento e outras tendem a ser descontínuas e curta. Algumas descontinuidades são preenchidas com quartzo e feldspato com largura variável. Os ângulos de inclinação de planos de fraturas variam bastante.

Tabela 1: Fraturas referentes ao tipo litológico sienito.

FRATURA	DIREÇÃO DA FRATURA	DIREÇÃO DE MERGULHO	ÂNGULO DE MERGULHO	OBSERVAÇÕES SOBRE AS FRATURAS
1	190 ⁰	270 ⁰	70 ⁰	Descontínua
2	330 ⁰	90 ⁰	68 ⁰	Freqüente
3	330 ⁰	270 ⁰	5 ⁰	Freqüente e Contínua
4	150 ⁰	220 ⁰	15 ⁰	Contínua
5	185 ⁰	95 ⁰	45 ⁰	Contínua e Irregular
6	347 ⁰	70 ⁰	75 ⁰	Freqüente e Contínua
7	258 ⁰	----	90 ⁰	Freqüente e Contínua
8	170 ⁰	230 ⁰	86 ⁰	Contínua
9	290 ⁰	350 ⁰	88 ⁰	Freqüente e Contínua
10	230 ⁰	110 ⁰	42 ⁰	Freqüente e Paralela a Foliação
11	280 ⁰	350 ⁰	57 ⁰	Freqüente e Contínua
12	295 ⁰	200 ⁰	80 ⁰	Freqüente e Contínua
13	295 ⁰	205 ⁰	85 ⁰	Freqüente e Contínua

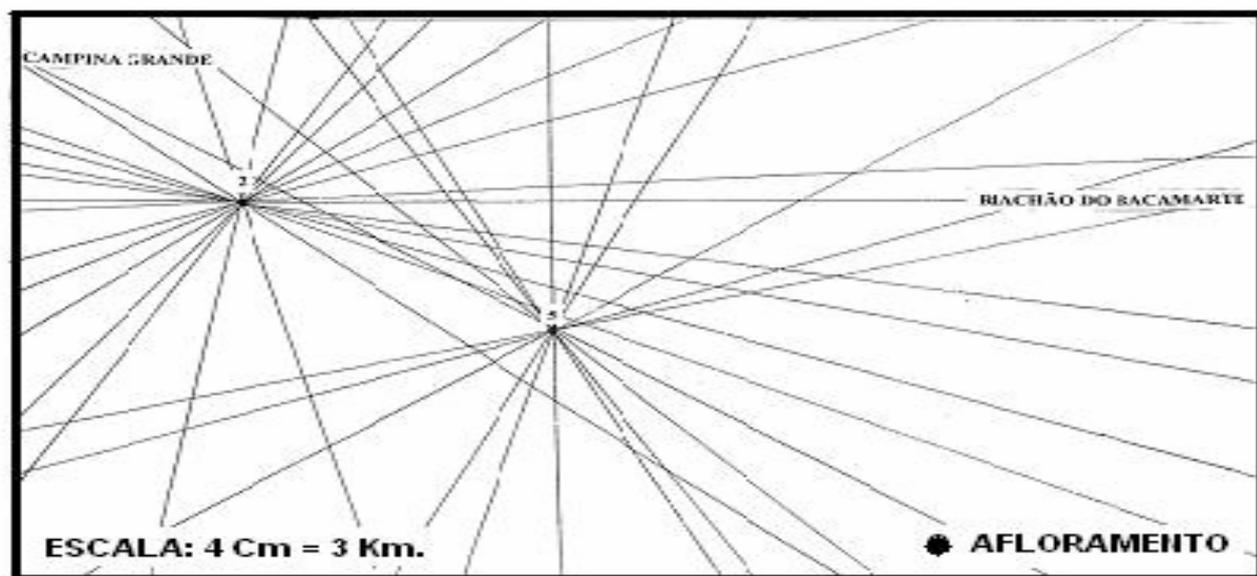


Figura 5 – Mapa de rede de fraturas da área de sienito.

A análise de variação espacial de fraturas na área de estudo foi feito aplicando conceitos de geoestatística (Issacs e Srivastava, 1989). Com isso foi elaborado variogramas experimentais que mostram presença de correlação entre variáveis dentro de espaço estudado. Variogramas fornecem informações sobre distâncias de alcances de fraturas, a saber, a distância máxima até qual existe correlação entre variáveis, o que permite limitar zonas de rede de fraturas (Poite, 1993). O software

Geoeas (Englund & Sparks 1988) foi utilizado para analisar e elaborar variogramas de dados de fraturas. A figura 6 mostra variogramas experimentais de diferentes litologias encontradas na área de estudo. Nos casos de variogramas de sienito (Figura 6a) e granito (Figura 6b) observa-se tendência crescente nos valores das variâncias espaciais contra distância entre pares de amostras, indicando presença de correlação e estruturas variográficas nos dados analisados.

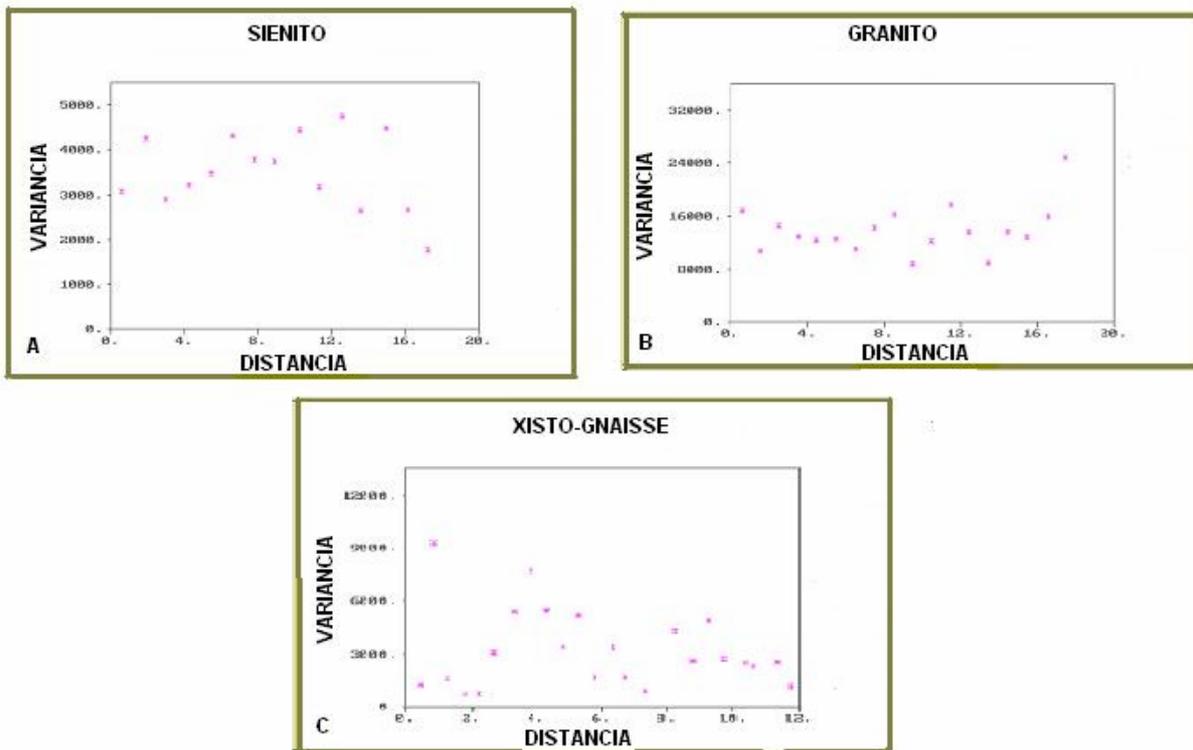


Figura 6. Variogramas experimentais de tipos litológicos sienito(A), granito (B) e xisto- gnaisse (C).

Nesses dois tipos litológicos a área de influencia ou alcance de fratura varia de 5 km para sienito e 4 km para granito. Variograma experimental para a litologia de xistos-gnaisses não apresentou estrutura variográfica nítida observada nas outras litologias como granito e sienito. Isso pode ser explicada pelo fato de que no caso de xistos e gnaisses, são agrupados dois tipos litológicos bem como o comportamento geomecânico dessas rochas são bastante diferente do que granito ou sienito. As rochas granito e sienito são rochas homogêneas em relação textura e composição mineralógica assim tem um comportamento uniforme à deformação do que xisto-gnaisse. Baseada na correlação espacial e área de influência de fraturas pode se elaborar as zonas geográficas de rede de fraturas dentro de qual existem semelhanças no comportamento de fraturas.

CONCLUSÕES

Embora as formações geológicas que ocorrem na área de estudo sofreram mesmos eventos de deformação as direções preferenciais das fraturas variam de uma

litologia para outra. Isso causado pela diferenças nas propriedades geomecânicas das rochas. Os dados de azimutes obtidos no campo também mostram boas estruturas variográficas com variação espacial dentro de áreas locais. Alguns tipos de fraturas tendem a ocorrer em todos os tipos litológicos da região e outros tipos ocorrem localmente nas litologias específicas. A frequência de ocorrência ou espaçamento entre fraturas varia conforme a litologia. Há necessidade de distinguir as fraturas regionais e locais através de análises de imagens e trabalho de campo e com isso planejar as obras civis, lava e outras. Neste trabalho de pesquisa chegou-se a conclusão de que é possível prever comportamento das fraturas na área composta de um tipo litológico homogêneo como granito e torna difícil nas áreas de diversidades litológicas complexas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

J.A.Hudson, p. 215-239, vol.5, Pergamon Press, Oxford

BABIKHER, M & GUDMUNDSSON, A. 2004. The effects of dykes and faults on groundwater flow in an arid land: the Red Sea Hills, Sudan. *Journal of Hydrology*, v.297, pp. 256-273.

COSTA, W.D & SILVA, A.B. 1997. Hidrogeologia dos meios anisotrópicos. em *Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações* (Ed. Feitosa, A.C & Manoel Filho, J.), CPRM, pp.133 –174.

DANTAS, J.R.A., CAÚLA, J.A.L. E BRITO NEVES, B.B. 1984. Mapa Geológico do Estado da Paraíba. Texto explicativo. Campina Grande: CDRM, 1982. 133 p.

DOUGHTY, C. & KARASAKI, . 2002.. Flow and transport in hierarchically fractured rock. *Journal of Hydrology*, v.263, No.1-4, pp. 1-22.

ENGLUND E.; SPARKS A. 1988. *Geo-EAS* Geostatistical environmental assessment software. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, (EPA/600/4-88/033^a).

GUDMUNDSSON, G.200. Fracture dimensions, displacements and fluid transport. *Journal of Structural Geology*, v.22, pp. 1221-123.

ISAAKS, E. H. E SRIVASTAVA, R. M.1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, 561p.

Jardim de Sa, E.F., 2000, Fraturamento no embasamento cristalino do Nordeste do Brasil: Cronologia da deformação frágil, Reativação Neotectônica e implicações hidrogeológicas., I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, Fortaleza, Ceara.

MANOEL FILHO, J.1997. Ocorrências das águas subterrâneas. em *Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações* (Ed. Feitosa, A.C & Manoel Filho, J.), CPRM, pp. 13 –33.

Pointe, P.R.La, 1993. Pattern analysis and simulation of joints for rock engineering. *in*. *Comprehensive Rock Engineering*, Ed.

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE SERRARIAS DE MÁRMORE E GRANITO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

I. F. Pontes¹, A. Stellin Júnior²

1 - Eng. de Minas, D.Sc., Pesquisador, Serviço de Tratamento de Minérios e Usina Piloto Centro de Tecnologia Mineral - Av. Ipê, 900, Ilha da Cidade Universitária, CEP.21941-590, Rio de Janeiro, RJ-Brasil, E-mail: ifalcao@yahoo.com.br

2 – Eng. de Minas, D.Sc., Prof. Titular, Departamento de Engenharia de Minas - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Av.Prof.Mello Moraes, 2373 – Cidade Universitária, CEP. 05508-900, São Paulo, SP-Brasil, E-mail: astellin@usp.br

RESUMO

O presente estudo apresenta as rotas pesquisadas em escala de laboratório utilizando amostras de resíduos provenientes de teares de serrarias, e gerados durante a etapa de serragem de blocos de mármore e granitos. As amostras foram coletadas na empresa MARBRASA, situada no município de Cachoeiro de Itapemirim – Estado do Espírito Santo.

O objetivo da pesquisa foi estudar a viabilidade técnica de purificação da amostra através da remoção do Fe contido nos resíduos de serrarias de mármore e granitos (pó de teares) possibilitando, assim, a sua utilização na indústria de cerâmica. Foi estudada numa segunda fase a utilização dos resíduos em cerâmica vermelha, para produção de tijolos, telhas e lajotas.

A primeira fase foi desenvolvida no CETEM, e consistiu de purificação da amostra, pela redução do teor de Fe, utilizando-se diferentes rotas de beneficiamento, partindo-se de um rejeito com 4,64% de Fe, foi possível obter concentrado com 3,2% de Fe, efetuando-se apenas um corte com peneira de 150 malhas, isto porque grande parte da granalha (substância abrasiva), composta de Fe, possui granulometria grossa (>150#). Esse descarte representa uma perda de

apenas 12% em massa. Foram realizados estudos preliminares de separação magnética de baixa intensidade com a utilização do Tubo Davis e do separador magnético de tambor, obtendo-se reduções do teor de Fe de 56,3% e 29,3%, respectivamente. Nos estudos de separação magnética de alta intensidade, foram utilizados o separador magnético Boxmag Rapid e o separador contínuo, tipo Carrossel, modelo CF-5 da Eriez Magnetics, obtendo-se reduções do teor de Fe de 75,9% e 34,7%, respectivamente. Nos estudos de concentração gravítica realizados em mesa vibratória, obteve-se uma redução do teor de Fe de 32%. Nos estudos de cicloneamento obteve-se uma redução do teor de Fe de 28,57%. Esta última rota deve ser melhor estudada, por ser mais viável economicamente, devido aos baixos custos de investimento e operacional.

Os estudos de aplicações industriais na Construção Civil, para uso do resíduo na indústria de cerâmica; cerâmica vermelha (telhas, tijolos e lajotas); blocos estruturais e piso para pavimentação; e argamassas, foram realizados na UFCE, NUTEC, empresa de construção civil JOTADOIS em Fortaleza – CE, e laboratórios de arquitetura da UFRJ. Os resultados obtidos foram considerados promissores.

INTRODUÇÃO

No Estado do Espírito Santo, os resíduos industriais gerados nas serrarias com teares de lâminas ou diamantados são, geralmente, depositados em barragens de rejeito improvisadas, ou vão sendo acumulados ao redor dessas serrarias ao longo do tempo. Em seguida, os resíduos são costumeiramente lançados ao meio ambiente, em locais inadequados, principalmente em áreas ainda próximas às serrarias. Em alguns casos, esses resíduos são jogados diretamente no rio Itapemirim, causando assoreamento do mesmo, poluindo sua água, e gerando assim grande impacto ambiental, acarretando conflitos com órgãos ambientais e populações vizinhas. Os empresários alegam falta de áreas para disposição desses resíduos. A comunidade vizinha é prejudicada pela poluição dos cursos d'água. Os órgãos de fiscalização agem, aplicando multas e restringindo, ou paralisando as atividades das serrarias, atividades estas muito importantes para a economia da região.

Um grande desafio na atualidade é o aproveitamento de forma racional de resíduos provenientes de processos industriais, operações de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais.

Ao transformar matérias - primas, de modo a torná-las úteis para a sociedade, o homem produz quantidades apreciáveis de resíduos que no momento, em que são produzidos, são inúteis e que, ao longo do tempo, acabam por comprometer o meio ambiente (FELLENBERG, 1980).

Segundo SILVA (1998), a necessidade de cumprir às exigências de manejo e disposição de resíduos sólidos gerados nas atividades industriais, vem sendo imposta, nas duas últimas décadas, seja pelas leis ambientais ou movimentos ecológicos em todo o mundo, tornando – se um grande desafio para os sistemas produtivos.

Neste contexto, a industrialização de rochas ornamentais necessita se conscientizar da responsabilidade de fazer mineração auto-sustentável, ou seja, com respeito ao meio ambiente e à comunidade.

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas para que sirvam como exemplos e inovações internacionais. É de fundamental importância a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias.

O Estado do Espírito Santo, em decorrência da sua posição geográfica privilegiada e da infra-estrutura de ferrovias, rodovias e portos disponíveis em seu território, figura como principal polo industrial brasileiro de rochas ornamentais, contribuindo para o crescimento do intercâmbio comercial entre o Brasil e outros países (SILVA, 1998).

O objetivo deste trabalho foi o de tentar minimizar o impacto ambiental, causado pelo pó de teares de mármore e granito, mediante o aproveitamento e valorização deste pó que é produzido e descartado pelas serrarias do Estado do Espírito Santo.

A parte metálica (Fe) do resíduo, constituída pela granalha, pode ser recuperada e reutilizada para outro fim. Os minerais constituintes do resíduo (pó de serraria) podem ser usados para fins mais nobres, na indústria cerâmica, e de construção civil (argamassa de assentamentos, argamassa de revestimento interno e externo etc.).

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Amostragem

A MARBRASA acumula seus rejeitos em uma barragem. Periodicamente, esta é secada e os rejeitos acumulados são removidos por retro-escavadeira e caminhão, e transportados para o bota-fora.

A amostragem foi realizada nessa barragem de rejeitos, na qual existe um tubo por onde ocorre a descarga da lama, por meio de um jato muito forte e intermitente. Essa lama é proveniente dos teares da serraria, FOTOS 1 e 2.



FOTO 1 – Descarga da lama na barragem de rejeito



FOTO 2 – Amostragem no tubo de descarga da lama na barragem de rejeito

Parte da amostra foi coletada no tubo de descarga da lama, e o restante da coleta foi realizado próximo às margens da barragem de rejeito, com a utilização de uma enxada. No tubo de descarga da lama, a coleta foi realizada com auxílio de uma caneca.

A amostra de resíduo (lama) foi acondicionada em oito (8) sacos plásticos, que totalizaram 307 kg, os quais foram devidamente lacrados para evitar perda de

material e contaminação durante o transporte. A amostra foi colocada em dois tambores e encaminhada ao CETEM / RJ, visando os estudos de caracterização e beneficiamento.

Preparação da amostra

Para início dos estudos de beneficiamento, foi necessária a desagregação do material, utilizando-se nesta etapa, peneira de 48 malhas. Com a amostra desagregada foi construída uma pilha de homogeneização, e em seguida foi realizado o quarteamento, com retirada de alíquotas, visando a realização dos estudos de caracterização química e mineralógica; concentração gravítica em mesas vibratória e Mozley; separação magnética de alta e baixa intensidade; e estudos de ciclonagem, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 1.

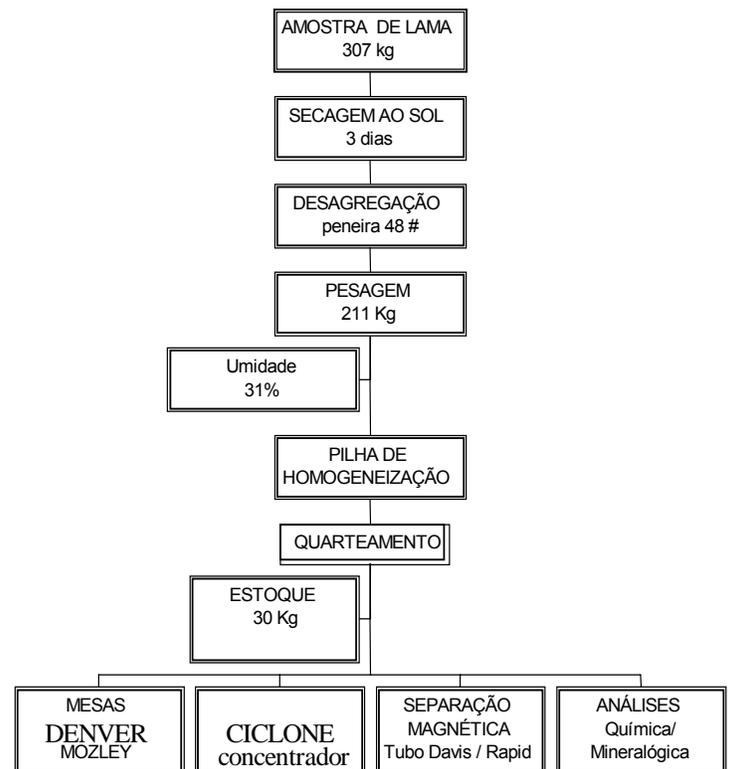


Figura 1 – Fluxograma usado na preparação da amostra para os ensaios de purificação

Caracterização Química e Mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada através de análises ao microscópio óptico, para a determinação de todos os minerais presentes no resíduo.

Esses estudos foram complementados por análises mineralógicas através de difração de Raios X e análises químicas, em amostras do resíduo obtidas no decorrer da pesquisa.

Foram realizadas análises químicas, via úmida, do resíduo, para Fe total e os óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , MnO , TiO_2 , e Perda ao Fogo, bem como, análise semi-quantitativa, através de espectrografia óptica de emissão. Os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas I e II.

Separação magnética de baixa e alta intensidade

Foram realizados simultaneamente aos estudos de caracterização química e mineralógica, cerca de vinte ensaios exploratórios de separação magnética de baixa intensidade, utilizando o tubo Davis (FOTO 3), em seqüência, foram realizados cerca de 15 ensaios de separação magnética de alta intensidade (via úmida), usando o separador magnético Boxmag Rapid (FOTO 4).

O campo magnético utilizado durante os ensaios variou entre 8.000 e 16.000 Gs; a matriz usada foi a de lã de aço. A alimentação do equipamento foi com polpa contendo 10% de sólidos, correspondente a 200g de massa seca de sólidos. A granulometria de alimentação do equipamento foi com material abaixo de 150 malhas (0,104mm).

FOTO 3 – Separador Magnético Tubo Davis



FOTO 4 – Separador Magnético Boxmag Rapid



Estudos de Aplicação do Resíduo na Industrial Cerâmica

Foram encaminhados à Divisão de Tecnologia Mineral do NUTEC / Fortaleza / CE, 40 kg de material, sendo 10 Kg de amostra beneficiada com teor de 0,7% Fe, 10 kg de amostra beneficiada com teor de 3,2% Fe e 20 kg de amostra não beneficiada com teor de 11,84% Fe, visando estudar utilizações mais nobres do resíduo, nas indústrias de construção civil e cerâmica, possibilitando agregação de valores.

Os ensaios iniciais visaram o aproveitamento do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, para produção de tijolos maciços, tijolos vazados, telhas, lajotas etc. Na construção civil, os estudos foram dirigidos para a produção de blocos estruturais. Estes ensaios são padronizados pelas normas brasileiras da ABNT. Os tipos de ensaios realizados foram:

- retração;
- módulo de ruptura;
- granulometria;
- absorção de água.

A argila utilizada como aglomerante do resíduo foi proveniente da Cerâmica Cascavel S.A., localizada na região metropolitana de Fortaleza e foi moída num moinho de bolas de porcelana, sendo a mesma colocada a uma granulometria abaixo de 20 malhas

Ensaio 1

Preparou-se uma mistura com 90% de argila e 10% do resíduo não beneficiado. Em seguida, este material foi molhado com cerca de 10% de água e colocado num molde, onde foi prensado com uma força compressiva de 2,5 toneladas. A partir da mistura anterior, foram produzidos 12 corpos de prova, conforme mostra a FOTO 5. Em seguida, os corpos de prova foram colocados na

temperatura ambiente para secar por 24 h, visando aumentar a resistência mecânica. Estes corpos de prova, foram secados ou queimados, conforme é mostrado a seguir, visando avaliar a retração, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão (módulo de ruptura).

4 corpos de prova secados a 70° C

4 corpos de prova queimados a 900° C

4 corpos de prova queimados a 1.100° C

Ensaio 2

O ensaio 2 foi realizado da mesma forma que o ensaio 1, apenas ocorrendo mudança na percentagem de utilização do resíduo, que neste caso foi de 20%.

Ensaio 3

O ensaio 3 foi realizado da mesma forma que os ensaios 1 e 2, diferenciando apenas no percentual de utilização do resíduo, que foi de 30%.

Foi produzido um total de 36 corpos de prova nesta primeira fase, usando a amostra do resíduo não beneficiado.

Adotou-se o mesmo procedimento para estudar a amostra beneficiada, ou seja, contendo baixo teor de Fe. Foram preparados 36 corpos de prova, visando os estudos de queima e medição de resistência à flexão, e absorção de água (FOTO 5).

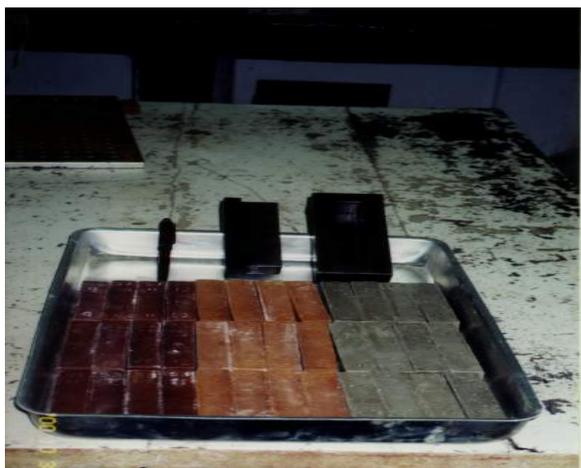


FOTO 5 - Corpos de prova para medição da Resistência à flexão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas análises químicas são mostrados na tabela I. Foram observados MgO e CaO provenientes do mármore (Tabela I).

Tabela I – Análise química do resíduo

ÓXIDOS	(%)
SiO ₂	35,5
Al ₂ O ₃	8,22
Fe ₂ O ₃	6,63
TiO ₂	0,96
K ₂ O	3,44
MgO	6,59
MnO	0,08
CaO	12,62
Na ₂ O	3,15
Perda ao Fogo	14,5

Os resultados da caracterização mineralógica confirmaram a presença de dolomita característica do mármore (Tabela II).

Tabela II – Caracterização mineralógica do resíduo obtida por difração de raios X

MINERAIS	(Peso %)
Dolomita	29
Quartzo	14
Albita	11
Anortita	15
Microclínio	21
Biotita	1
Anfibólio	< 1
Outros	9
TOTAL	100

Os resultados da separação magnética usando o Tubo Davis estão mostrados na Tabela III.

Tabela III – Resultados da separação magnética usando o tubo Davis

Teste N ^o	Campo Mag. (Gauss)	Distribuição Massa (% Peso)		Fe (%)		% de remoção de Fe
		Não Mag.	Mag.	Mag.	Não Mag.	
1	1550	96,63	3,37	43,3	1,6	50,0
2	1700	96,59	3,41	48,3	1,6	50,0
3	1800	96,45	3,55	46,5	1,6	50,0
4	2000	96,24	3,76	40,8	1,5	53,1
5	2100	95,88	4,12	15,8	1,4	56,3
6	2300	94,41	5,59	34,2	2,5	21,9
7	3200	94,50	5,50	51,9	2,5	21,9
8	3800	94,38	5,62	43,1	2,2	31,3

Os melhores resultados obtidos nos estudos de separação magnética de alta intensidade foi com a utilização do separador magnético Boxmag Rapid. As condições operacionais utilizadas nesses ensaios estão apresentadas na tabela IV. Nesta fase foi possível remoção de cerca de 75% de ferro.

Tabela IV - Resultados da separação magnética usando o separador Boxmag Rapid

Teste	Campo Magnético (Gauss)	Distribuição Massa (% Peso)		Fe (%)		% de remoção de Fe
		Não Mag.	Mag.	Inicial	Final	
1	8.000	75,83	24,17	3,2	1,2	62,5
2	10.000	68,34	31,66	3,2	0,77	75,94
3	12.000	67,89	32,11	3,2	1,4	56,25
4	14.000	67,88	32,12	3,2	1,1	65,62
5	16.000	67,54	32,46	3,2	0,67	79,06

Comentários sobre a aplicação industrial

1. O resíduo beneficiado pode ser utilizado em até 30% nas formulações de massa para cerâmica vermelha.
2. Face sua granulometria, o resíduo beneficiado pode substituir com vantagens a argila grosseira que os ceramistas normalmente misturam com sua argila mais fina para diminuir a plasticidade.
3. O resíduo não beneficiado traz problemas para obtenção da resistência mecânica mínima a 900°C nas proporções de 20 e 30 %.
4. Apesar do resíduo não beneficiado atender aos requisitos a 1100°C, ele apresenta defeitos superficiais e internos do tipo coração negro que inviabilizam o seu uso em formulações de peças de cerâmica vermelha.

Tabela V - Amostra beneficiada e seca a 70°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)
Resíduo 10%	61,48	2,44
Resíduo 20%	51,39	2,03
Resíduo 30%	40,48	1,39

Tabela VI - Amostra beneficiada e queimada a 900°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	61,48	2,44	10,13
Resíduo 20%	51,39	2,03	10,33
Resíduo 30%	40,48	1,39	12,20

Tabela VI I- Amostra beneficiada/queimada a 1100°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	303,34	9,20	0,32
Resíduo 20%	317,54	8,72	0,30
Resíduo 30%	361,43	8,61	0,19

Resultados com amostras não beneficiadas

Tabela VIII - Amostra não beneficiada e seca a 70°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)
Resíduo 10%	59,06	1,99
Resíduo 20%	45,78	1,39
Resíduo 30%	39,61	1,04

Tabela IX - Amostra não beneficiada e queimada 900°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	78,23	2,95	9,27
Resíduo 20%	57,97	2,04	10,09
Resíduo 30%	48,65	1,73	10,37

Tabela X - Amostra não beneficiada e queimada 1100°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	225,34	7,89	1,45
Resíduo 20%	209,29	7,35	1,21
Resíduo 30%	193,16	7,02	1,11

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

Existe viabilidade técnica de se purificar o resíduo através da separação magnética de alta intensidade. Tal processo foi capaz de remover o Fe em até 75%, reduzindo o teor de 3,2% para 0,7%, viabilizando a sua utilização em usos mais nobres.

Os estudos de purificação com o ciclone necessitam ser aprofundados, pois apesar dos resultados obtidos (remoção de 30% Fe) serem inferiores aos da separação magnética, estes resultados poderão ser melhorados. Além disto, esta rota apresenta baixos custos de investimento e operacional.

Os resultados para uso do resíduo na cerâmica vermelha foram todos promissores.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de uma bolsa PCI (Programa de Capacitação Institucional), para a realização dos estudos de utilização do resíduo, na Divisão de Tecnologia Mineral do NUTEC/CE.

Ao Dr. Francisco Lordes Diretor do Senai do Espírito Santo e sua equipe, pelo apoio durante o período da amostragem dos finos da serraria e envio da amostra coletada ao CETEM/RJ.

Ao Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal, pela intermediação junto a Direção do NUTEC, para disponibilização dos equipamentos e laboratórios de processos cerâmicos, caracterização mineralógica da Divisão de Tecnologia Mineral, e apoio durante a realização dos ensaios.

Ao Dr. João Arquimedes Bastos Presidente do NUTEC, pela aprovação da minha ida àquele conceituado órgão do Governo do Estado do Ceará.

Ao Dr. Fernando Antônio Freitas Lins, pelo apoio durante a realização do trabalho.

Ao Dr. Adão Benvindo da Luz, do CETEM, pelas sugestões na elaboração deste trabalho.

A Dra. Regina Monteiro Castelões, do CETEM, pela ajuda nos ensaios de purificação da amostra.

Ao Dr. Antônio Rodrigues de Campos, do CETEM, pela revisão neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologias de lavra e beneficiamento**. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v.3)
- ALVES, J. D. Materiais cerâmicos, classificação dos materiais cerâmicos na construção civil, In: ALVES, J. D. **Materiais de construção**, 4ª Ed. São Paulo: Nobel, 1978. v. 2, p. 215 - 261.
- Rochas para revestimento**: análise petrográfica. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2p.(NBR 12.678).
- ARCOVERDE, W. L., SILVA, E. A. Rochas Ornamentais. **Sumário Mineral Brasileiro**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. v.18, p. 78-9, 1998.
- CARUSO, L. G. Pedras naturais-extração, beneficiamento e aplicação. **Rochas & Equipamentos**, n. 43, p. 98-156, 1996.
- CARUSO, L. G. ; TAIOLI, F.; FARJALLAT, J. E. S. Os mármores e granitos brasileiros: seu uso e suas características tecnológicas. **Rochas de Qualidade**, n. 47, p. 36-45, 1978.
- CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996. v.1, cap. 3, p. 152-66: Introdução.
- CHAVES, A. P.; QUEIRÓS, D. S. B.; MAIA, G. S.; BARROS, L. A. F.; HORTA, R. M. Desaguamento mecânico. In: CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996. v. 2, cap. 4, p. 238-42.
- CHAVES, A. P.; NOGUEIRA FILHO, J. V.; FERRAN, A. **Projeto MULTIMIN**: cadastramento dos recursos minerais do Brasil - estudo de casos. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas/ EPUSP, 1999.
- FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da Poluição ambiental**. 2 ed. São Paulo: USP, 1980. 193p.
- FONSECA, M. V. A. **Reciclagem de rejeitos sólidos: desenvolvimento em escala de laboratório, de materiais vítreos a partir de xisto retornado**. São Paulo, 1990. 224p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FREIRE, A. S. MOTTA, J. F. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. **Rochas de Qualidade**, n. 123, p. 98-106, jul./ago. 1995.
- FERREIRA, J. P. **Otimização na produção de teares a partir do controle da composição da lama abrasiva**. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. 96 p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.
- MELO JR., L. A. **Panorama da indústria de rochas ornamentais e oportunidades para o Ceará**. São Paulo, 1991. 152p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

- MOYA, M. M. **A indústria de rochas ornamentais**: estudo de caso na região de Bragança Paulista. São Paulo, 1995. 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MOREIRA, M. D. **Aplicações dos minerais e rochas industriais**. In: Materiais para construção, caps. II, III, pedras de revestimento, produto cerâmicos. Salvador / Bahia, 1994. 87p., Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia – Sergipe. p. 14 – 19.
- NETO, J. P. **Tecnologia de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Olinda / PE, 1998. **Anais**. p. 62-69.
- PINHEIRO, A. L. **Metodologia de especificação e aplicação das rochas ornamentais**. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. Monografia. CETEMAG, Universidade Federal do Espírito Santo. p. 6-7.
- PONTES, I. F. **Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos**. São Paulo, 2001. 150p., Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P. S. Argilas como matérias – primas cerâmicas. In: SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas**. São Paulo, Edgard Bluchercap, 1975. v.2, aplicações, cap. 16, p. 387 – 390.
- STELLIN JÚNIOR, A. Mármore e granitos brasileiros. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990. **Memorie**, Cagliari: Università degli Studi di Cagliari/Dep. Engenharia de Minas da EPUSP, 1990. p. 293-306.
- STELLIN JÚNIOR, A. **Serragens de granitos para fins ornamentais**. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, 1998. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085)
- SILVA, R. E. C. **Estudo geológico-técnico-ambiental de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua**. Rio de Janeiro, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFRJ.
- SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo – Cimento**. Espírito Santo, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil - NDCC, Universidade Federal do Espírito Santo.

REVESTIMENTO DE FACHADAS DE PRÉDIOS COM ROCHAS ORNAMENTAIS ATRAVÉS DE INSERTS METÁLICOS

*Júlio César de Souza
Jose Lins Rolim Filho
Belarmino Barbosa Lira*

DEMINAS/UFPE, 2126 8245, jcsouza@ufpe.br
DEMINAS/UFPE, 2126 8245, zelins@hotmail.com
DECIV/UFPE, belarminoblira@yahoo.com.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivos principais abordar os princípios gerais do sistema de fixação por inserts metálicos esclarecendo os conceitos, definições e características do mesmo; indicar quais são os materiais utilizados para aplicação do revestimento; apresentar alguns tipos de inserts metálicos existentes no mercado; dar orientações gerais sobre as principais características do sistema de fixação de placas de rochas ornamentais através de inserts metálicos e definir os principais benefícios de sua correta aplicação.

Esse sistema vem sendo utilizado nos países do 1º mundo há décadas e tem como características básicas economia e segurança na etapa de aplicação das placas, sistematizar os procedimentos de aplicação do revestimento e proporcionar um isolamento térmico e acústico do prédio revestido.

INTRODUÇÃO

A fixação de mármore e granitos com inserts metálicos surgiu da necessidade de melhoria nas condições de segurança, na qualidade no assentamento das peças e também de proporcionar maior conforto térmico e acústico de edifícios. Além dessas vantagens tem-se também uma maior agilidade na execução de revestimentos externos de fachadas de edifícios.

As primeiras obras executadas com esse sistema surgiram na Europa e nos Estados Unidos a mais de 40 anos e no Brasil à cerca de 15 anos. Desta época até os tempos atuais este sistema tem sido difundido por todo o mundo e evoluído com o desenvolvimento da tecnologia de fixação, dos materiais utilizados para fixação e da metodologia de aplicação.

Entre as características do sistema de colocação de fachadas com inserts metálicos pode-se destacar: rapidez na montagem das placas; ocorrência de manchas nas placas provocadas pela cal e pela umidade; dispensa do uso de salpique sendo a prumada corrigida com a regulagem dos inserts; maior segurança em termos de fixação e aderência a estrutura do prédio; juntas bitoladas; dispensa da colocação de escoramento nas placas no assentamento, bem como da mão-de-obra do carpinteiro.

Devido a essas características é consenso no setor de rochas ornamentais que o sistema de fixação por inserts metálicos substituirá por definitivo o método tradicional de assentamento de mármore e granitos em fachadas através de argamassa.

Existem duas metodologias básicas para a realização da fixação de placas de rochas ornamentais em fachadas com inserts metálicos:

- Aplicação individual das placas ao prédio, com elementos de fixação

- para todas as unidades utilizadas na fachada (sistema europeu),
- Confecção de painéis onde as placas individuais são fixadas individualmente e posterior aplicação dos painéis à estrutura do prédio (sistema americano).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE FIXAÇÃO METÁLICO

Paginação

O projeto de paginação refere-se ao desenvolvimento das plantas, cortes e elevações com cotas para execução e fabricação das placas de rochas ornamentais, detalhamento das junções de granito com granito, granito com caixilho, etc.

O projeto de paginação é o início do processo fixação das placas de mármore e granito com inserts metálicos e objetiva a definição do tamanho das placas e também o tipo e tamanho dos inserts metálicos necessários a sua fixação na fachada.

Para realização da paginação é preciso ter-se cotas horizontais e verticais em função dos eixos topográficos, prumadas, contramarco e pontos de nível.

Para definir-se as medidas das placas deve-se levar em consideração os seguintes aspectos:

- afastamento médio dos inserts metálicos de 7 cm até o centro pino (interno 6 cm e total pronto 8 cm).
- espaço para rejuntamento de mais ou menos 5 mm.
- tipo de concordância de cantos das placas.

É necessária a elaboração de uma planilhas com a setorização (por letras ou números), numeração das placas, quantidade, dimensões, detalhamento do corte, furações e/ou rasgos das placas de granito ou mármore.

Inserts Metálicos

Os inserts metálicos são peças fabricadas em aço inoxidável AISI-304 que possuem formas variadas para atender a cada necessidade ou situação de aplicação de placas de rochas ornamentais.

A espessura das peças variam de 2 mm, 3 mm e 4 mm.

O diâmetro dos pinos é de 4 mm.

Os furos para fixação dos chumbadores tem diâmetro de 3/8. O parabol é fixado na estrutura do prédio através de furadeira manual.

O sistema de fixação por inserts metálicos deverá vencer um afastamento ideal de 8 cm, podendo corrigir um desprumo estimado de mais ou menos 3 cm, isto é, o afastamento poderá variar de 7 a 10 cm da parede da fachada.

Deverão ser previstas peças metálicas especiais para a correção de prumadas superiores ao estimado.

A seleção de material adequado a fabricação dos inserts metálicos deve considerar os princípios básicos da segurança e qualidade, bem como a questão da trabalhabilidade e conformação do material além de aspectos técnicos de corrosão e composição química.

Faz-se o cálculo das juntas a fim de diminuir o tamanho das pedras. Por exemplo, com uma fachada de 10 m lineares, pode-se dividir o comprimento em 20 pedras tendo-se então 19 juntas. Esse espaço entre as pedras será de 0,05 m ou seja (19 x 0,05) de 0,95 m. O tamanho das placas será então de $10 - 0,95 = 9,05 \text{ m} / 20 = 0,452 \text{ m}$.

Medição

Define-se como medição o levantamento "in loco" das cotas horizontais e verticais em função dos eixos topográficos, prumadas, contramarco e pontos de níveis fixados pela obra.

O processo de medição é de alta relevância no projeto do sistema de fixação por inserts metálicos e deve ser realizado por pessoal técnico especializado visando garantir a exatidão das medidas que servirão de referência para a definição das ordens de corte das placas e na determinação do número e tipo de inserts metálicos utilizados.

Fixação

A fixação das placas de rocha ornamental na estrutura do prédio a ser revestido é feita através de dois elementos:

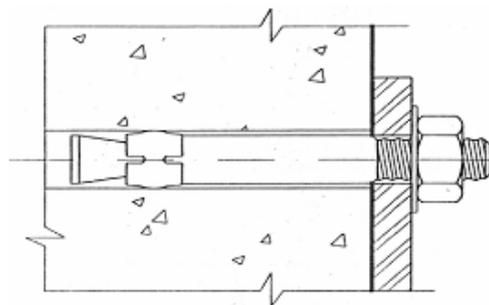


Figura 1 – Forma de aplicação dos chumbadores à estrutura do prédio

Rejuntamento

Após a limpeza das juntas introduz-se um cordão de polietileno de contenção (8 mm), aplica-se uma fita crepe nas arestas das placas de granito ou mármore, aplicando-se em seguida a calafetagem com silicone neutro.

O rejuntamento tem um efeito mais estético do propriamente técnico. Tecnicamente o uso de rejuntamento nas juntas impõe uma pressão adicional sobre as placas devido ao empuxo do vento, neutraliza em parte as vantagens do isolamento térmico e acústico que o sistema oferece e importa em maiores custos na colocação (+ 25% em média).

Esteticamente é aconselhável a utilização de juntas preenchidas até o 2º piso pois a partir desse pavimento as mesmas tornam-se imperceptíveis a olho desarmado. Eventualmente pode-se proceder também ao preenchimento das juntas das viradas e pingadeiras das sacadas. As juntas do

- para paredes de concreto: parabolt 3/8”.
- para parede de tijolo maciço: parabolt 3/8” com camisa.

Esses chumbadores de expansão servem para ancoramento dos inserts metálicos que serão engastados às placas de granito ou mármore através de furos ou rasgos (figura 1).

peitoril podem ser preenchidas com o rejunte normal da obra.

ESFORÇOS E RESISTÊNCIAS

Cálculo do peso das placas

O peso da placa de rocha ornamental utilizada é calculado levando-se em consideração:

- as dimensões da placa
- o peso específico médio dos materiais

Como valores médios pode-se considerar os seguintes pesos específicos:

- Granito: 2,5 à 2,9 g/cm³ (2.500 à 2.900 kg/m³)
- Mármore: 2,6 à 2,8 g/cm³ (2.600 à 2.800 kg/m³)

Exemplo de cálculo do peso das placas:

Placa de espessura 2 cm e dimensões 0,65 x 1,24⁵:

Área da placa: $0,65 \times 1,245 = 0,81 \text{ m}^2$

Volume da placa: $0,81 \text{ m}^2 \times 0,02 \text{ m} = 0,0162 \text{ m}^3$

Peso da placa: $0,0162 \text{ m}^3 \times 2.590 \text{ kg/m}^3 = 41,958 \text{ kg} \Rightarrow 42 \text{ kg}$

Outras cargas (isolamento térmico, rejuntamento, isolamento acústico, passagem de fios, tubulações): + 40% do peso

Peso total da placa de rocha ornamental: $42 \text{ kg} \times 1,4 = 58,8 \Rightarrow 60 \text{ kg}$

Peso da placa de granito bianco sardo $0,65 \times 1,24^5 \text{ m} = 60 \text{ kg}$

Dimensionamento dos inserts metálicos

O dimensionamento dos inserts metálicos leva em consideração a verificação da resistência própria do material nos

RESIST. DOS INSERTS / SOLICITAÇÕES \Rightarrow COEF. DE SEGURANÇA

Faz-se então a comparação com o coeficiente de segurança mínimo admitido

diversos pontos de solicitação frente aos esforços atuantes.

Principais solicitações na estrutura de fixação e nas placas de granito:

- Peso próprio da placa mais eventuais cargas
- Cargas devidas à ação do vento
- Cargas devido a impactos acidentais
- Movimentação da estrutura do prédio (retração e deformação)
- Dilatações térmicas lineares do material e do revestimento

O dimensionamento dos inserts é realizado através de comparação entre as solicitações atuantes nas peças (flexão, tração, compressão, torção) e os limites de resistência dos inserts.

São estabelecidos os coeficientes de segurança para cada solicitação, que deverão ser superiores a um valor mínimo estabelecido levando-se em consideração as condições de segurança desejadas para o revestimento.

para a obra e conclui-se sobre a adequação ou não das solicitações:

COEF. DE SEGURANÇA $\Leftarrow \Rightarrow$ SEGURANÇA MÍNIMA DA OBRA

Dimensionamento das placas de rocha ornamental

Parâmetros importantes:

- Limite de resistência dos inserts metálicos e das rochas disponíveis
- Área a ser revestida
- Dispositivos de elevação de placas disponível
- Maior aproveitamento possível das chapas de granito ou mármore
- Características estéticas e arquitetônicas da obra a ser revestida.

Os mármore e granitos são desdobrados em chapas de tamanhos

variados em função do tamanho do bloco que a originou e da direção de desdobramento.

A subdivisão de peças de uma fachada deve levar em consideração a boa utilização da chapa original (aproveitamento máximo da chapa), para evitar o desperdício de material.

Solicitações atuantes no sistema de fixação metálico

Esforços devido ao vento:

- pino de engate da placa (esforço cortante)

- orelha do insert (esforço de flexão)
- cantoneira (esforço de flexão)
- placa (esforço de flexão)

Esforços de arrancamento do chumbador:

- parabolte (esforço de tração e arranque)

Deformação elástica (flecha):

- cantoneira (esforço de flexão)

Cisalhamento da chapa da cantoneira:

- cantoneira (esforço cortante)
- orelha do insert (esforço cortante)

Resistência do parafuso:

- parafuso de união do conjunto cantoneira / insert (esforço cortante)

ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO METÁLICA

Arrancamento do chumbador

Tem como objetivo verificar o comportamento do conjunto chumbador / concreto ou alvenaria / verga. O ensaio é apresentado esquematicamente na figura 2.

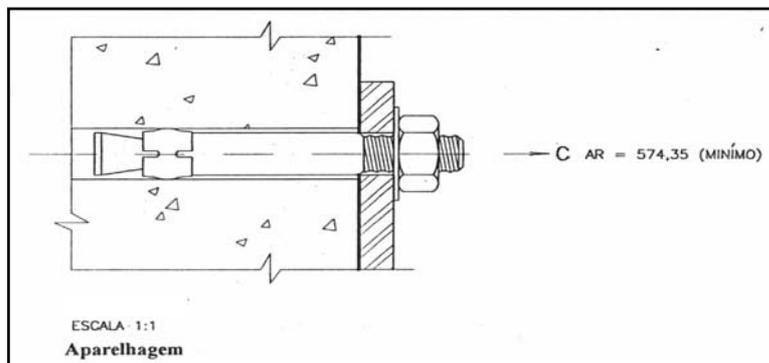


Figura 2 – Ensaio de arrancamento do chumbador

Resistência à carga de ruptura

Objetiva verificar a força de ruptura do conjunto insert metálico x placa de rocha. O

ensaio é apresentado esquematicamente na figura 3.

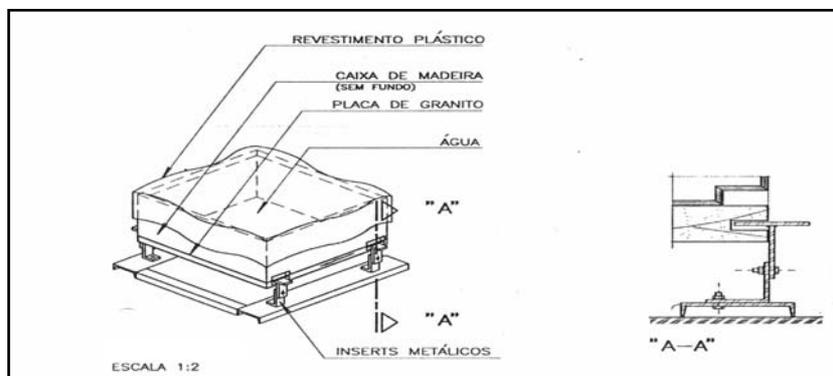


Figura 3 – Ensaio de resistência à carga de ruptura

Resistência ao impacto

Tem como objetivo verificar a resistência do conjunto insert metálico x placa de rocha. O

ensaio é esquematicamente apresentado na figura 4.

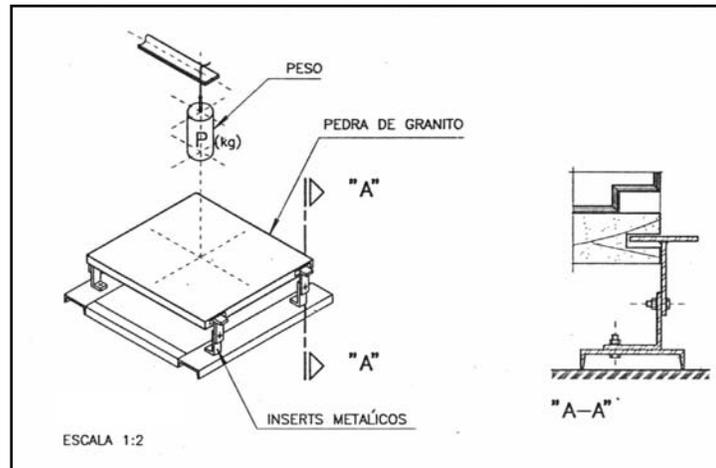


Figura 4 – Ensaio de resistência ao impacto

METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA FIXAÇÃO METÁLICA

Controle de qualidade na aplicação de fixação metálica

O objetivo fundamental do controle de qualidade é assegurar o perfeito andamento das montagens na obra e também o perfeito assentamento das placas de rocha ornamental, de acordo com o projeto arquitetônico estabelecido.

O controle de qualidade no campo é feito através de:

- Verificação das prumadas, eixos e pontos de nível adotados em conjunto com a obra,
- Verificação das condições de trabalho (balancins, andaimes, equipamentos de proteção),
- Inspeção do material a ser colocado com relação a possíveis defeitos de fabricação (cantos quebrados, trincas nas placas, despadronização estética),

- Inspeção da instalação ou fixação do insert metálico ao concreto, de forma a assegurar uma perfeita utilização do sistema de fixação.

Movimentação e suspensão de chapas

A movimentação e suspensão de chapas são feitas através de um sistema mecânico que consiste na utilização de uma talha manual ou elétrica através de um apoio fixado nos andares superiores da obra ou de uma grua colocada no teto do prédio.

As vantagens de aplicação do sistema mecânico são::

- Maior velocidade de movimentação dos materiais
- Aumenta a segurança.

O posicionamento da pedra para sua movimentação pode ser realizado através dos seguintes equipamentos: tenazes, ventosas ou gaiolas (figura 6).

O meio para elevação e abaixamento pode ser através de cordas, correntes ou cabos de aço, que são dimensionados em função dos esforços de tração resultante do peso das pedras.

A talha é um guincho acionado eletricamente ou manualmente. A talha possui uma determinada resistência mecânica que não poderá nunca ser ultrapassada sob risco de rompimento do equipamento. Essa resistência tem de ser compatível com o peso das pedras que serão movimentadas.

A fixação das talhas pode ser feita através de dois sistemas:

- Colunas de madeira (andar superior)
- Gruas móveis ou de trilhos (teto do prédio)

Sistema de colocação

A metodologia de colocação de placas de rochas ornamentais através do sistema de fixação com inserts metálicos pode ser resumida nas seguintes etapas:

- Lançar as prumadas da fachada (a 8 cm da estrutura, começando por cima)
- Furação das pedras a serem assentadas (projeto da fachada, viradas ...)
- Furação horizontal na estrutura da fachada (fixação do parabolt)

- Colocação da primeira pedra da fileira (iniciar da esquerda para direita a fim de facilitar a colocação das pedras subsequentes).

A seqüência de colocação das placas de rocha ornamental na fachada deve seguir os seguintes procedimentos:

- Assentar as primeiras pedras na fileira de baixo, seguindo-se a colocação das próximas fileiras de baixo para cima;
- Marcar os furos para fixação do parabolt levando em conta sempre a prumagem da obra e corrigindo a mesma através do deslocamento do insert sobre a cantoneira de apoio;
- Colocar a primeira pedra no canto inferior esquerdo seguindo os passos:

1. Marcar o furo do parabolt ajustando-se a prumada da fachada,
2. Furar e fixar a cantoneira com parabolt,
3. Fixar a pedra com insert no canto inferior esquerdo da placa,
4. Fixar a pedra com insert no canto inferior direito da placa,
5. Seguir os procedimentos descritos acima (etapas).

A figura 5 abaixo mostra exemplos da forma de aplicação dos inserts metálicos bem como as situações de fixação mais comuns encontradas nos projetos de aplicação desse sistema.

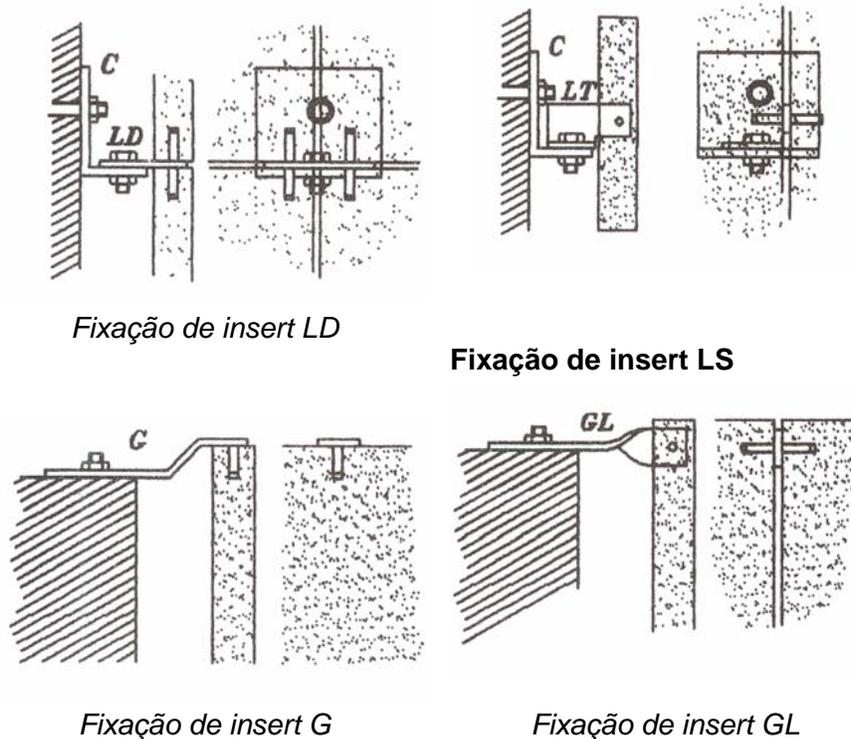


Figura 5 – Situações de fixação mais comuns

Rejuntamento

A etapa de rejuntamento possui uma justificativa mais estética do que científica, alterando as condições de ventilação da fachada e fazendo com que a mesma perca parte de suas vantagens de isolamento térmico e acústico. Sugere-se que o mesmo seja executado apenas nos andares iniciais da obra, viradas e sacadas.

A metodologia de aplicação do rejuntamento é a seguinte:

- Colocação dentro do vão entre as pedras de um pavo de polietileno com diâmetro de 8 mm;

- Colocação de fita crepe nas bordas da pedra para evitar que o silicone escorra e cole sobre a superfície da pedra;
- Aplicação do silicone na fresta acima do pavo de polietileno;
- Retirada do excesso de silicone e rebarbas com o dedo afim de proporcionar uma colocação homogênea do silicone dentro das frestas.

Furação das placas

A furação das placas é uma etapa importante para o bom andamento da colocação e deve ser realizado com rigorosa adequação ao projeto de fixação, principalmente em termos do posicionamento do furo nas laterais das placas evitando-se deslocamentos que prejudicaram a sua aplicação.

A forma mais segura de executar-se uma boa furação das placas é a utilização de furadeiras horizontais de mesa ou furadeiras manuais com gabaritos pré-determinados das distâncias de furação.

CONCLUSÕES

Devido as características técnicas do sistema de fixação de placas de rochas ornamentais através de inserts metálicos conclui-se que essa metodologia apresenta diversas vantagens em relação ao sistema tradicional de utilização de argamassa, que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- ✓ Rapidez na colocação, chegando a valores de 10 m²/dia para uma equipe de 2 homens,
- ✓ Dispensa do uso de salpique, reduzindo o tempo de colocação e custo da obra,
- ✓ Evita-se o manchamento das placas decorrentes da cal e umidade,
- ✓ Permitem a correção da prumada dos prédios através da regulagem dos inserts metálicos,
- ✓ Geram um isolamento térmico e acústico melhorando as condições ambientais nos prédios e reduzindo os custos de climatização dos ambientes,

- ✓ Eliminam a necessidade de escoramento das placas reduzindo o tempo e custos de colocação das placas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avellaneda, J. – Fachadas de placas de piedra natural: evolución y diseño constructivo. Barcelona, Universidade Politécnica de Catalunya, s. d.

Consiglio, A. – Guide technique pour l'emploi rationnel du marbre. Roma, Associazione dell'Industria Marmifera Italiana e delle Industrie Affini, 1972

Deutsches Institut für Normung – Cladding for external walls, ventilated air rear; natural stone; requirements; design – DIN 18.516. Berlim, 1990

Flain, E. P. – Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 183 pp, 1995

Flain, E. P. e Cavani, G. R. – Revestimentos verticais com placas de rocha. Técnica. São Paulo, Pini, v. 2, n. 10, p. 59-63, 1994

Gere, A. S. – Design considerations for using stone veneer on high-rise buildings. ASTM STP 996. Philadelphia, 1988.

SENAI-RS – Fixação de mármore e granitos com inserts metálicos. Material Instrucional, Porto Alegre, 32 pp, 1999

Projeto de Peças em Mármore e Granito

Risale Neves

Profa. MSc. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU)
e-mail risale@hotmail.com.br

RESUMO

Este trabalho contém procedimentos de projeto executivo para peças em mármore e granito no mobiliário de edificações. Estes procedimentos — dirigidos aos projetistas da construção civil que lidam com processos operativos — vem sendo aplicados e avaliados no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPE, na disciplina *Detalhes do Projeto Arquitetônico*.

Denominamos de projetistas aqueles técnicos legalmente habilitados que elaboram projetos executivos e especificações; acompanham a produção, a montagem e a execução na construção civil. Incluem-se aí os arquitetos principalmente, os engenheiros e os designers de mobiliário.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é baseado em experiências projetual-construtivas e tem como objetivo o procedimento sistemático e a melhoria da qualidade técnica dos projetos de peças dirigidos às marmorarias. Espera-se, por outro lado, contribuir para o estabelecimento de uma cultura técnica que integre os diversos agentes participantes do complexo sistema de utilização e aplicação de placas de rochas na construção civil. O procedimento leva em conta a dinâmica dos seguintes

processos: projetos elaborados e acompanhados em canteiros de obras; avaliação de detalhes técnicos de terceiros encaminhados às marmorarias do Recife visando a execução de peças em mármore e granito; a observação dos procedimentos técnico-operativos dessas marmorarias; e, a experiência em sala de aula.

A partir dessas observações e das recomendações de especialistas desde a primeira edição do SRONE, culminando com preocupações registradas durante o I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais realizado em Guarapari no Espírito Santo, constatamos de forma empírica, que profissionais de arquitetura, em sua maioria, entre outros que atuam na ponta da cadeia produtiva, têm apresentado projetos para execução de peças e para revestimentos, com baixo nível de resolução técnica referente aos mármore e granito.

Superar essa deficiência técnica, tendo em vista a exigência cada vez maior de produtores e da clientela, tornou-se um desafio não só para os arquitetos que atuam no mercado, como para aqueles que estão em formação profissional.

Assim, a preocupação em formar profissionais mais especializados e qualificados, exige um suporte sólido que inclui conhecimentos integrados sobre a tecnologia que envolve a utilização das rochas e sobre o desenvolvimento de projetos.

O ÂMBITO TECNOLÓGICO E O ÂMBITO DO PROJETO

A questão de uma melhor qualificação diz respeito ao aprimoramento em dois âmbitos de conhecimentos que se relacionam:

O primeiro é o tecnológico e prático referente às rochas ornamentais e, em particular, ao mármore e ao granito. Envolve a bibliografia específica sobre os aspectos científicos e também os estudos de caso, testes, tecnologias disponíveis de aplicação e aplicação prática do produto.

O segundo é aquele referente ao projeto propriamente dito e diz respeito a procedimentos que primem pela boa resolução dos detalhes arquitetônicos e pela qualidade construtiva. Envolve o que será tratado no corpo deste trabalho.

O âmbito do projeto pressupõe e incorpora, necessariamente, o âmbito do conhecimento científico e tecnológico do material.

O âmbito tecnológico: O (des)conhecimento dos mármore e granitos para o arquiteto

Desconhecendo a complexidade da cadeia produtiva das rochas ornamentais, desde a identificação de jazidas viáveis, extração de blocos, transporte e beneficiamento, até a comercialização de chapas, e *desconhecendo as implicações da natureza das rochas e da caracterização tecnológica no uso, muitas aplicações resultam com problemas.*

Esses conhecimentos, próprios da engenharia de minas e da geologia, tem sido disponibilizados a partir de trabalhos e eventos científicos do setor, mas ainda não estão sendo produzidos e direcionados especificamente para os profissionais de arquitetura.

O âmbito do projeto

Face o próprio despreparo técnico, e a falta de condições para orientar estagiários, a maioria dos arquitetos produzem os seus detalhes para execução de peças em mármore e granitos de forma inadequada.

A crescente substituição da madeira (que outrora substituiu a pedra bruta e trabalhada), por mármore e granitos nos mais variados elementos arquitetônicos e mobiliários domésticos, funcionais ou decorativos, e *na maioria dos casos PROJETADOS por ARQUITETOS, passa a exigir muito mais destes, um preparo efetivo de detalhamento incorporado ao conhecimento das rochas.*

O despreparo técnico das marmorarias em sua maioria, para interpretar os detalhes corretos, e o *risco maior de PREJUÍZOS AO INTERPRETAREM OS DETALHES INCORRETOS, reforça ainda mais a qualificação em questão.*

O despreparo da mão de obra de canteiro, aquela que atua na obra para assentar as peças vindas da marmoraria, e *que pode até POR EM RISCO UM TRABALHO BEM DETALHADO E BEM EXECUTADO NA MARMORARIA, constitui mais um desafio para os profissionais .*

Para assegurar o aprimoramento da qualificação nos dois âmbitos do conhecimento aqui tratados, **DEVE O ARQUITETO**, enquanto não dispõe de trabalhos produzidos e direcionados especificamente para eles, **PROCURAR ACESSAR OS CONHECIMENTOS GERADOS PELOS ESPECIALISTAS DO SEGMENTO DA ENGENHARIA DE MINAS E DA GEOLOGIA, PROMOVENDO A ESPECIFICAÇÃO ADEQUADA PARA CADA USO DO MATERIAL E EVITANDO POR MEIO DE**

UM DETALHAMENTO SISTEMATIZADO E RIGOROSAMENTE INFORMADO, a má interpretação do seu projeto, a demora na entrega dos serviços, erros com desperdício de material, custo agregado de prejuízo e efeitos negativos com especificações inadequadas.

Assim, recomendamos não só acessar o conhecimento e sistematizar o detalhamento, mas acompanhar os trabalhos na própria marmoraria, como será visto adiante, o que pode evitar danos aos bolsos da empresa e do cliente, e pode evitar ainda, em casos extremos mas ocorrem, custos com causas judiciais contra profissionais, demandadas por clientes insatisfeitos.

Procedimento para projeto em mármore e granito

A título de orientação, propõe-se o seguinte procedimento:

IDEALIZAR o objeto que vai ser detalhado;

PROGRAMAR as partes do objeto;

DETALHAR PARA MARMORARIA;

MANTER ENTENDIMENTOS para execução.

IDEALIZAR

O objeto que vai ser detalhado, mobiliário ou componente arquitetônico, envolve a inserção do objeto no espaço que vai ocupar, as relações de uso, funcionalidade, pré-dimensionamento, proporção e **principalmente a escolha do material adequado**. Se justifica através de uma planta geral de projeto arquitetônico.

PROGRAMAR

O objeto que vai ser detalhado envolve as relações entre as partes componentes e o local de assentamento, **o dimensionamento das partes componentes, os acabamentos e principalmente o processo de**

montagem. Resulta em plantas de detalhes arquitetônicos que não interessam necessariamente às marmorarias

DETALHAR PARA MARMORARIA

o objeto que vai ser detalhado, envolve a abstração do objeto dos demais elementos do ambiente, para não confundir o entendimento do mesmo, por exemplo, com linhas de forro, linhas de piso, inclusive linhas de cotas, **resultando em desenho à parte de cada componente da peça a ser detalhada**, conforme exemplos de planilhas de corte e montagem apresentadas adiante.

MANTER ENTENDIMENTOS para executar

o objeto que vai ser detalhado, envolve o acesso aos responsáveis;

a confiabilidade no preço, na interpretação dos detalhes e nos serviços;

a abertura de ambas as partes para discussões e sugestões sobre as melhores práticas de execução; e **principalmente o acesso a oficina**.

RETOMANDO OS PROCEDIMENTOS,

No caso da idealização, a escolha do material adequado exige:

Algum conhecimento sobre a cadeia produtiva;

Conhecimento básico sobre caracterização tecnológica e comportamento físico químico mecânico das rochas, o que permitirá ao profissional escolher o material tecnicamente mais adequado às solicitações de uso, por exemplo: menos poroso, mais resistente à abrasão, entre outras solicitações; e não somente pela cor e textura ou pela simples indicação do cliente;

Algum conhecimento sobre a bibliografia especializada e como

acessar as informações científicas disponibilizadas;

Exige ainda, o reconhecimento da importância da assessoria técnica no caso de especificações mais complexas ou obras de grande porte.

Este quesito, está diretamente ligado ao âmbito tecnológico tratado neste trabalho e recai sobre ele a *NÃO EXISTÊNCIA DE TRABALHOS PRODUZIDOS E DIRECIONADOS ESPECIFICAMENTE PARA OS PROFISSIONAIS DE ARQUITETURA.*

No caso da programação, o dimensionamento do material e a orientação sobre o processo de montagem exige:

Definição do tamanho máximo das peças projetadas em função do tamanho máximo das chapas comercializadas (em torno de 2,80 m);

Definição do tamanho máximo das peças em função da altura dos elevadores, por exemplo (com retirada de forros);

Definição do tamanho máximo das peças em função da acessibilidade em escadas, hall de entrada, largura e altura de portas e janelas, por exemplo, sem risco de quebrar;

Definição do tamanho máximo das peças em função das condições de içamento para locais mais altos (se for o caso, considerando que é um procedimento caro no caso de peças isoladas);

Definição das emendas das peças e locais de apoios (nem sempre colocados sob as emendas), o que geralmente deixa implicações estéticas e acabamentos descuidados principalmente quando as chapas de mármore ou granitos tem espessuras diferentes e isso não foi verificado.

No caso do detalhamento para marmoraria, a abstração do objeto a ser detalhado dos demais elementos componentes da edificação exige:

- Relação das peças que vão ser executadas (**anexo 1**);
- Perspectiva com indicação das peças numeradas - a mesma numeração indicada nas planilhas do orçamento e corte - e esquema de montagem acompanhando a descrição do procedimento de execução (**figura 1**);
- Planilhas para orçamento e corte das peças detalhadas, numeradas, cotadas e com o tipo de corte e acabamento de borda indicado (**figuras 2 e 3**);
- A indicação de detalhes especiais;
- A indicação do polimento, se em uma ou duas faces e onde não deve haver polimento para garantir melhor condição de colagem (se for o caso);
- Maquete, com numeração das peças igual à numeração das planilhas e igual à numeração da perspectiva, para melhor visualização do efeito final pretendido. (**peça acabada - fotos 1 e 2**).

No caso do entendimento com as oficinas:

O acesso permite melhor entendimento e a retirada de dúvidas;

Permite recomendar acabamentos especiais;

Permite a escolha das chapas sem veios indesejados ou aquelas manchas que nunca sabemos o que são, e comumente rotulam de – é da chapa - pode até ser, mas as vezes não convém ao detalhamento aí recai na questão do conhecimento para escolha do produto;

Permite também controlar o aproveitamento das chapas sem desperdício do material.

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:

Tudo o que puder ser montado na própria marmoraria melhor, porque há maior condição de trabalho nas bancadas.

Devem ser observadas as condições de transporte e intercorrências

do posto em obra. As partes componentes quando montadas e coladas em marmoraria, de acordo com o detalhamento, exigem cuidados especiais no transporte para não partirem, quebrar arestas, ou descolar... Se possível, o arquiteto deve verificar se as peças estão corretas na saída do material para a obra.

ANEXO 1

DETALHES DE BALCÃO DE COZINHA

RELAÇÃO DE PEÇAS A SEREM EXECUTADAS

- Peça 01-uma elevação da base 0.203 x 2.81
- Peça 02-uma base do balcão 0.72 x 2.81
- Peça 03-três laterais do balcão 0.72 x 0.64 (*)
- Peça 04-uma tampo parte maior 0.72 x 1.925 (**)
- Peça 05-uma complemento na parte posterior do fogão 0.503 x 0.17
- Peça 06-uma complemento lateral do tampo 0.72 x 0.383
- Peça 07-uma "L" por baixo do tampo, medindo 1.522 x detalhe
- Peça 08-uma fundo de parede do balcão 0.55 (***) x 2.81
- Peça 09-uma prateleira 0.26 x 2.81 (ver acabamento)

A numeração das peças consta nas planilhas, perspectiva e na maquete.

(*) Compensar esta altura de 0.64, se a chapa usada no tampo, -peças 04,05 e 06, não forem de 20mm. A altura das peças 03 somada à espessura das peças 04, 05 e 06, devem somar 0.66 de altura total recomendada para encaixe do fogão de embutir.

(**) Este tampo tem recorte para encaixe das cubas acopladas FRANK e rebaixo pela parte inferior para colagem da peça 07 em "L".

(***) Esta peça só poderá ter a sua altura definida corretamente, após assentamento das fiadas de azulejo e prateleira superior bem como tampo do balcão, porque ela se encaixa entre estas duas peças.

AS ÁREAS DE MANUSEIO E CONTATO COM ÁGUA FORAM PROJETADAS EM GRANITO RAIN FOREST (GRANOS - CEARÁ, MARMOPEDRAS-RECIFE) POR APRESENTAR COLORAÇÃO CLARA CONSIDERANDO A POUCA LUMINOSIDADE DO AMBIENTE, E POR APRESENTAR ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA 0.18% E POROSIDADE APARENTE 0.46%, INDICATIVOS QUE O DEFINE COMO APROPRIADO PARA O USO.

AS PEÇAS QUE NÃO VÃO ESTAR DIRETAMENTE LIGADAS AO USO MOLHADO – AS DIVISÓRIAS E PRATELEIRAS, POR QUESTÕES DE LUMINOSIDADE E POR RASÕES ECONÔMICAS, FORAM PROJETADAS EM MÁRMORE, DO TIPO VULGARMENTE CHAMADO DE BRANCO RAJADO, RESULTANDO INTENCIONALMENTE EM EFEITO ARQUITETÔNICO DIFERENCIADO, ARTIFÍCIO USADO INCLUSIVE EM OUTRAS PEÇAS PROJETADAS PARA A MESMA UNIDADE RESIDENCIAL.

BIZANTINE 1702 Pissle Nova
 DETALHE DO BALCÃO COZINHA

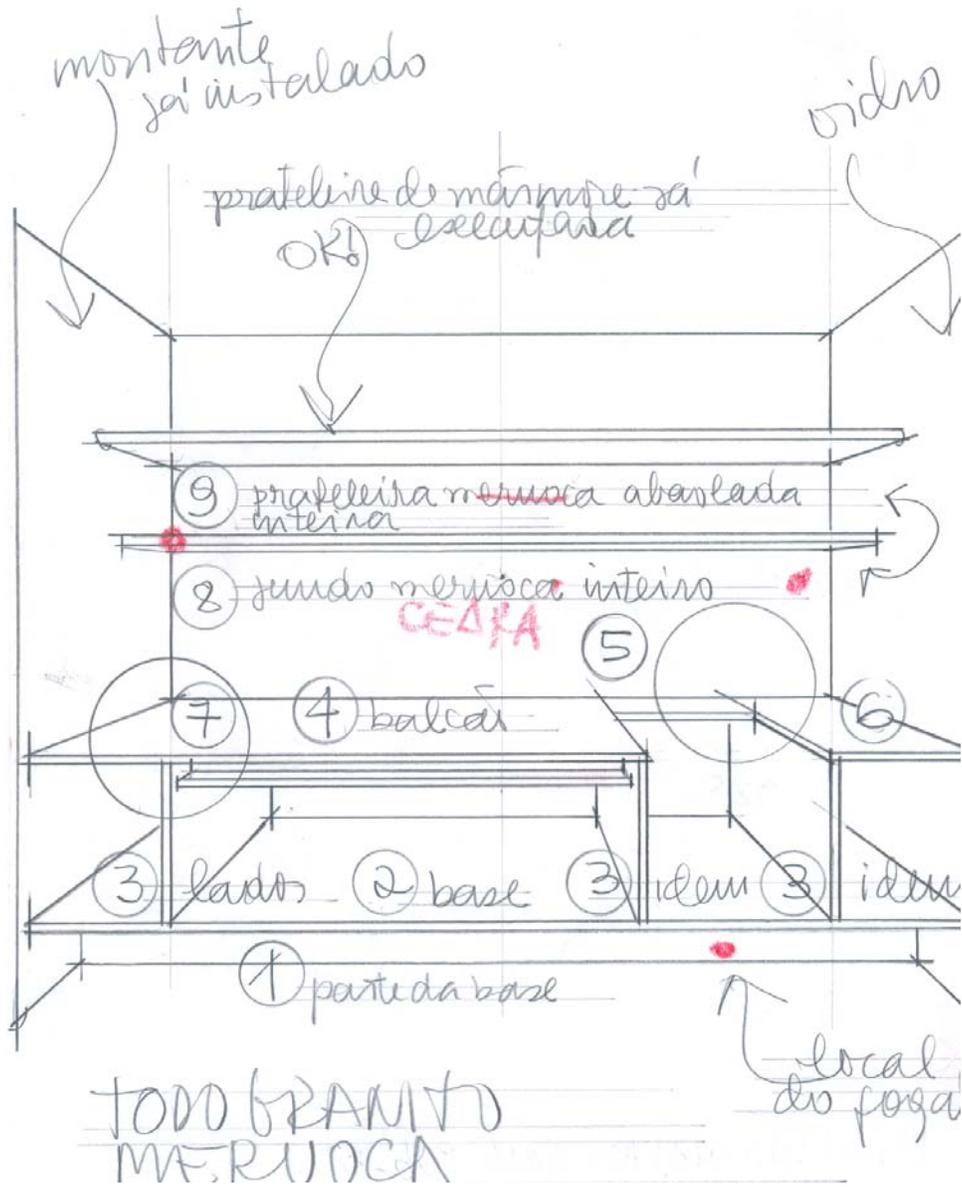


Figura 1 – Detalhes de balcão de cozinha

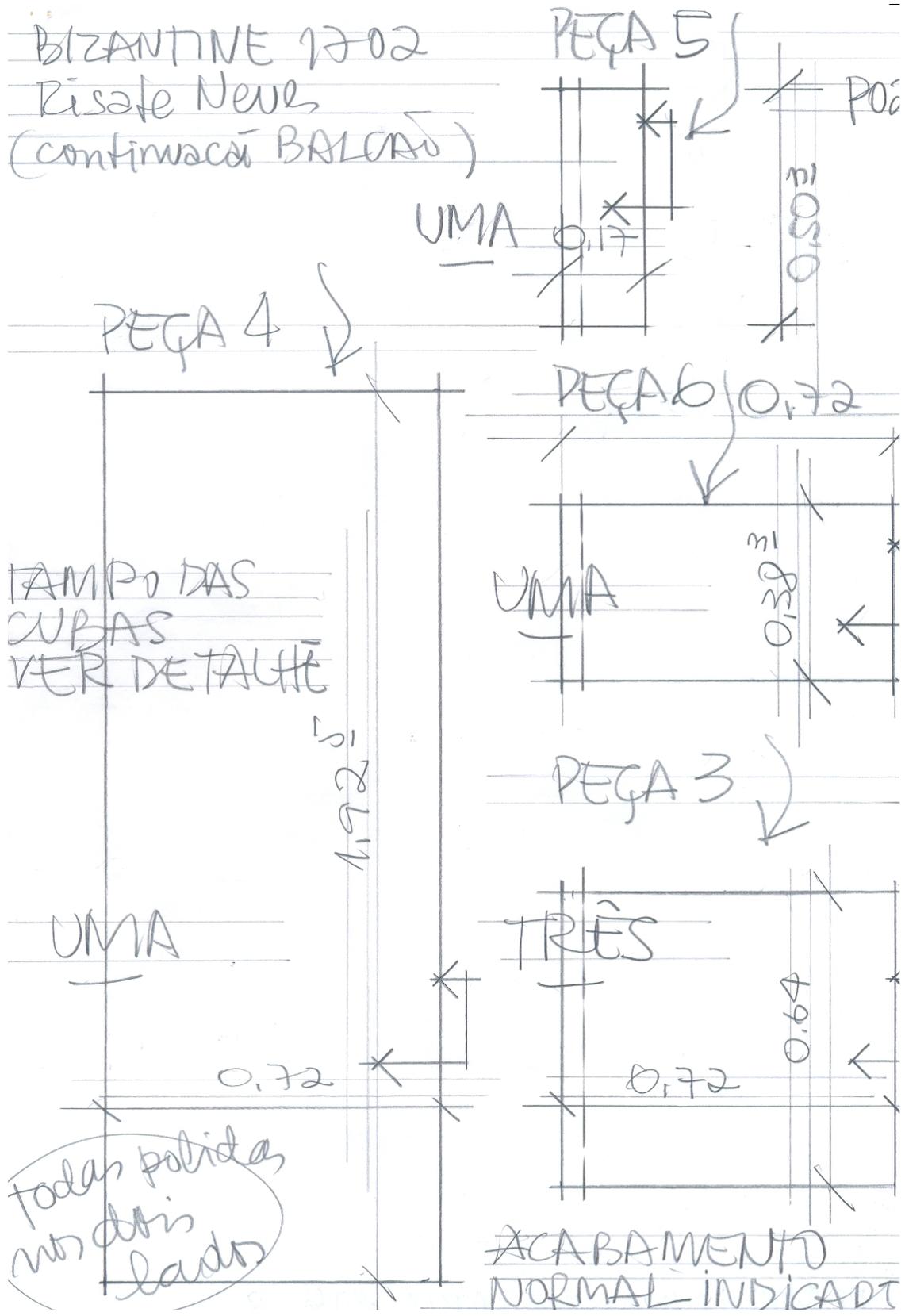


Figura 2 - Detalhes de balcão de cozinha

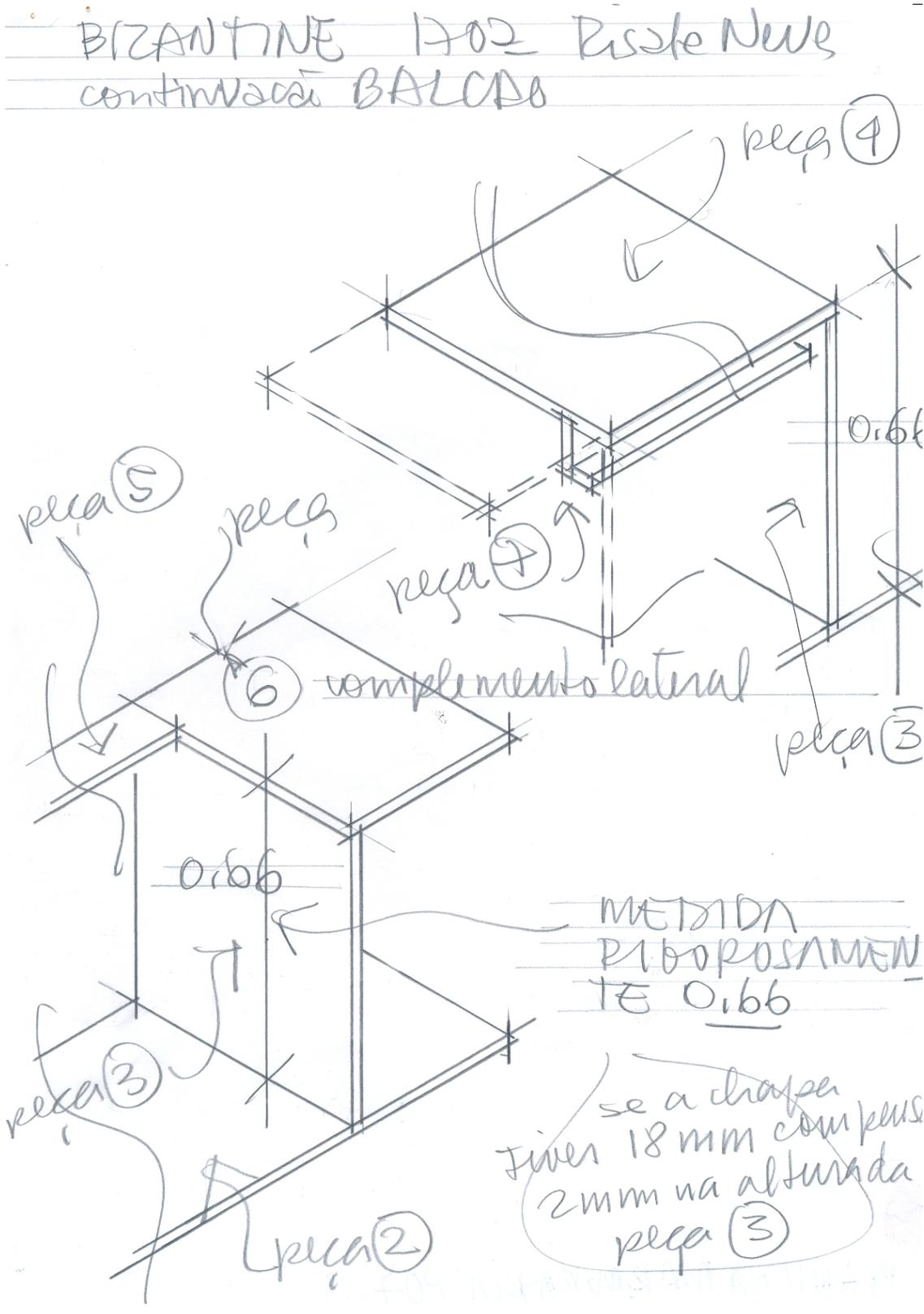
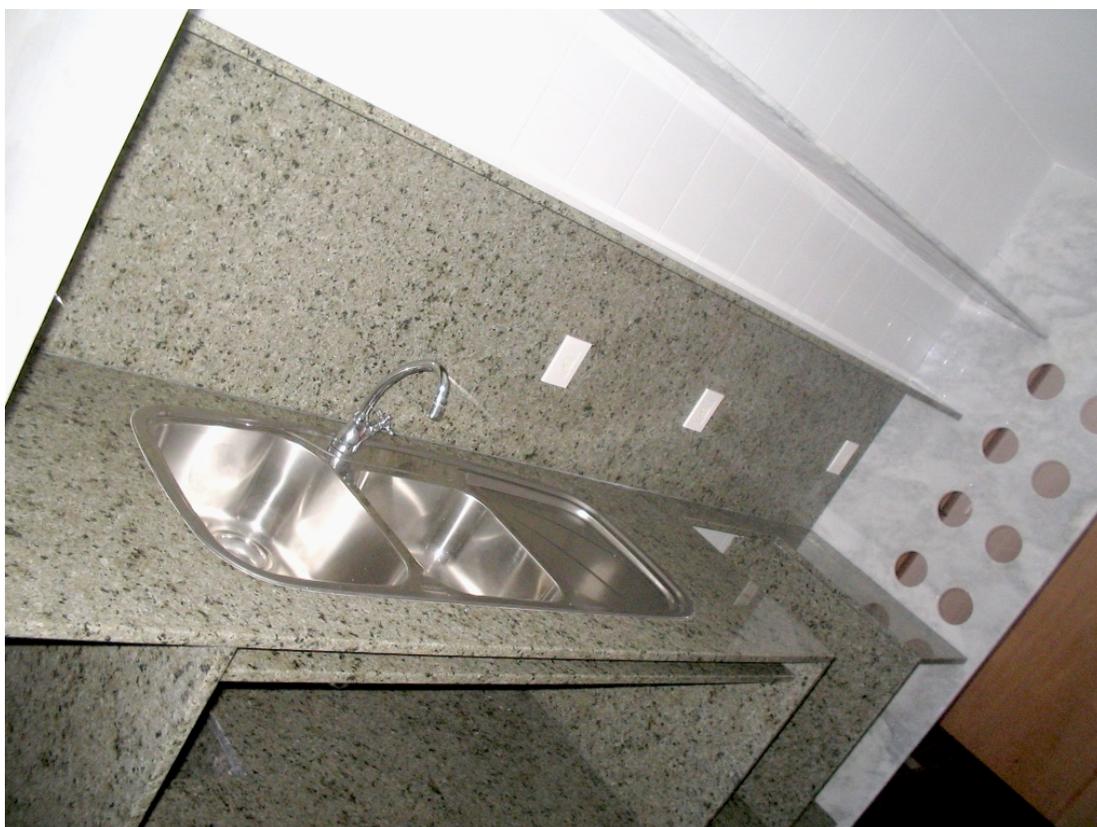


Figura 3 - Detalhes de balcão de cozinha



Fotos 1 e 2 – Peça acabada

CONCLUSÃO

Observadas as características do material escolhido no exemplo aqui apresentado, nos perguntamos: que conclusão pode tirar o arquiteto de cada uma delas? Interpretar o índice de absorção de água é mais fácil. Estabelecer a diferença entre este índice e a porosidade aparente suscita dúvida sobre o que seria mais importante no caso de um balcão de cozinha como o do exemplo.

Que diferença faz mais ou menos feldspato, plagioclásio, quartzo, anfibólio ou mica (entre outros dados pertinentes) no material especificado? Isto o catálogo não diz ao arquiteto, nem exemplifica casos. Seria necessário ele ter o conhecimento de um geólogo? Ou seria suficiente poder contar com trabalhos bem direcionados?

Disponibilizar um suporte sólido de informações sobre a tecnologia que envolve rochas ornamentais e o desenvolvimento de projetos, conforme a abordagem inicial deste trabalho, remete à nossa própria experiência na busca pelas informações e interpretações dos dados disponíveis e a resposta a questionamentos como os vistos acima.

Acreditamos que é importante quando a relação é direta entre a tecnologia e a prática, disponibilizar comentários, comparações e avaliações de casos como os que são feitos pontualmente em eventos do setor, mas sem direcionamento de informações sistematizadas para o arquiteto.

A experiência vivenciada tem nos mostrado que existem preocupações do setor - como já foi dito inicialmente - e boas intenções com relação à atuação dos profissionais que trabalham na ponta da cadeia produtiva. O setor tem tentado chegar até eles através programas específicos e de recados remetidos para o ensino nas universidades.

Analisando o contexto, identificamos então duas formas de atrair e motivar

profissionais do mercado e das academias: o investimento em programas que já estão possibilitando a aproximação de alguns profissionais do conhecimento amplo da cadeia produtiva e a flexibilização dos programas de pós-graduação dos seguimentos da geologia e da engenharia de minas para acesso de profissionais e docentes, principalmente, visando formação especializada.

Assim, para os projetistas devidamente habilitados, principalmente os arquitetos, terem acesso ao conhecimento gerado no âmbito tecnológico das rochas ornamentais de forma apropriada à arquitetura, os programas de pós-graduação em geologia deveriam atrair esses profissionais para que eles agregassem o conhecimento geológico e pudessem oferecer ao mercado uma prática projetual integrada.

Oportunidade igual, dificilmente se dará nas graduações de arquitetura e urbanismo ou nos cursos de pós graduação dessa área porque além de não constituir matéria específica da grade curricular ou das linhas de pesquisa, as orientações teriam que vir da própria geologia ou engenharia de minas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anais do I ao IV SRONE;

Anais do I Congresso Internacional de RO – Guarapari, ES;

Participação no III SRONE;

Conferencista no IV SRONE;

Comissão Científica no I Congresso Internacional;

Revistas Especializadas;

Publicações do CETEM/MCT.

ROCHAS PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: A IMPORTÂNCIA DO DETALHE CONSTRUTIVO

Lavínia de Vasconcelos Xavier Coelho
Mestranda - lavinia Coelho@yahoo.com.br
DAU/UFPE

Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira
Ph.D - mariadagracaferreira@yahoo.com.br
DAU/UFPE

Arnaldo Cardim de Carvalho Filho
Dr.- arnaldo.cardim@ig.com.br
DAU/UFPE

RESUMO

O crescimento do uso de rochas ornamentais em fachadas nas últimas décadas vislumbrou um novo panorama: na sua maioria, os profissionais da área da construção civil não detêm o conhecimento técnico básico necessário para o uso das mesmas. Essa constatação está presente tanto na escolha dos materiais e técnicas adotadas, quanto na execução da obra. A situação é ainda mais evidente quando se põe em foco o uso dos detalhes construtivos.

Em razão deste cenário, são detectados vários problemas nas obras, especialmente em fachadas, devido a alterabilidade da rocha ou patologias com materiais afins. Fissuração, deslocamento e manchamento, são alguns dos exemplos.

A tendência atual é uma melhora quanto à execução e escolha dos materiais devido às diversas NBRS (Normas Brasileiras) regulamentadas a partir de 1992; no entanto, para o detalhamento não há norma. Pretende-se com este trabalho abordar esta perspectiva e fazer algumas considerações sobre a produção do detalhe construtivo.

INTRODUÇÃO

O uso das rochas pelo ser humano é bastante remoto, seja em armas, seja na construção civil. Esse uso é tão importante que caracterizou etapas da civilização: “Era da Pedra Lascada” e “Era da Pedra Polida”. O simbolismo dessas denominações mostra os estágios evolutivos dos povos.

Durante esses milhares de anos o uso das rochas foi ganhando outros contornos, segundo o aprimoramento das técnicas e os novos conhecimentos acerca do material. De facas e peças pontiagudas, as rochas passaram para cobertas. Destas para as fundações. Do amontoado viraram paredes e em passos largos foram transformadas em agregados para materiais cimentícios. Por fim ainda acumulam o papel de revestimento.

Entretanto, apesar de todas as possibilidades de uso que as rochas podem oferecer, cada uma tem um perfil e um desempenho, fatores que dependem de sua origem, formação e composição. Por ser um material formado pelo arranjo de um ou mais minerais, dependente da temperatura e da pressão, mesmo entre as rochas de uma mesma jazida pode haver diferenças de composição, de cor e de resistência.

Essa falta de uniformidade leva os usuários a uma contínua busca, através de pesquisas e ensaios, pelo uso do material da maneira mais eficaz. Esse estudo se reflete principalmente no campo das rochas para agregados e especialmente no das com caráter ornamental para revestimento: para agregados devido à importância do concreto na construção civil; e para revestimento na padronização do uso e para diminuir o risco de problemas com o material assentado “in loco”.

A escolha e aplicação do material de revestimento envolvem grande responsabilidade por parte do técnico. Primeiro, pois é uma etapa de custo representativo em uma obra (5 a 15%). Segundo, porque o revestimento escolhido pode caracterizar socialmente uma edificação. Por último, o revestimento de fachada tem uma série de atribuições a cumprir: proteger o corpo do edifício (alvenaria e estrutura) contra agentes externos físicos, químicos e biológicos; gerar conforto térmico e acústico; manter a higidez da fachada; e dar um acabamento estético à obra.

O mesmo funciona como um sistema autônomo, com características próprias, que trabalha isoladamente do corpo do edifício. Tem que absorver os impactos externos e internos (choques mecânicos, vento, movimentação da estrutura, entre outros), que são refletidos em tensões, sem transmiti-las a edificação.

As rochas ornamentais entraram neste meio devido aos diversos padrões estéticos, a nobreza do material e a grande durabilidade. Seu uso foi propagado sem regulamentação durante muito tempo, originando vários problemas.

Por fim, as rochas para revestimento obtiveram regulamentações pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recentemente: em 1992, as NBR (Normas Brasileiras) relativas à análise petrográfica e aos ensaios de resistência, de porosidade e de dilatação térmica; em 1996, as NBR relativas ao projeto e a execução de revestimentos com

placas de rocha. As NBR relativas à avaliação de propriedades e de composição trouxeram uma padronização dos ensaios, entretanto as NBR de projeto e execução tratam o assunto de maneira ampla.

O resultado é que hoje se exige mais do que nunca uma especificação precisa e segura, um uso racional, aliado a técnicas eficientes para que não se perca nem material, nem tempo nem dinheiro.

Estabeleceu-se também uma postura crítica em relação ao ambiente. As rochas são materiais não renováveis, que quando explorados causam danos à paisagem, além de exigirem outros recursos energéticos para sua extração, transporte, e necessitarem de produtos auxiliares para sua aplicação. É um gasto significativo e sem retorno para a natureza.

Cobra-se muito a qualificação do especificador, mas é sabido que grande parte das dificuldades que ocorrem com os revestimentos em placas de rocha provêm de deficiência de projeto (falta de detalhes construtivos) e/ou de falha de execução (aplicação, técnica escolhida).

PANORAMA

O investimento e conseqüentemente o crescimento da exploração de rochas ornamentais no Brasil nas últimas décadas, em especial mármores e granitos, foi primordial para a difusão do seu uso como revestimento. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS (2005), as exportações duplicaram na década de 90, partindo dos US\$ 100 milhões em 1993 para US\$ 200 milhões em 1997. A acessibilidade ao material permitiu o seu uso em edificações de funções diversas, tanto comercial, como institucional e privado, sempre associado a características nobres.

Essa profusão de rochas no mercado, apesar de benéfica para o setor, não teve o mesmo acompanhamento evolutivo dos

projetistas e executores, estando muitos ainda limitados a técnicas antigas, desconhecendo as NBRs pertinentes, e ignorando as especificidades e desempenho dos diferentes tipos de rocha. O desconhecimento tem gerado um sem número de obras comprometidas.

Técnicas usadas por mais de cinquenta anos como o assentamento de placas em fachadas com argamassa e grampos, as quais freqüentemente são objetos de reparos, ainda continuam em uso, apesar das exigências da NBR 13707 (1996, p.4 e 5). GÖSSEL & LEUTHÄUSER (2001, p. 33) afirmam que em 1951, Gottfried Semper citou um técnico de construção daqueles tempos: “[...] Consoante a bolsa do cliente, o canteiro punha [...] painéis de arenito, mármore ou granito na fachada e prendia esse revestimento com grampos de ferro à alvenaria e aos pilaretes [...]”.

Segundo ROLIM FILHO (2002, p.1), o Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, em análise dos mais diversos problemas de ordem patológica, apresentados no Nordeste, em rocha com fins ornamentais, concluiu que a grande maioria dessas patologias e pseudopatologias é oriunda dos procedimentos e materiais utilizados na fixação da pedra.

E MARANHÃO (2001, p.3) endossa afirmando que as manifestações patológicas nos revestimentos com placas de rocha podem decorrer do emprego de procedimentos inadequados em qualquer uma das etapas do processo de produção do revestimento, durante o seu uso e/ou em sua manutenção.

O DETALHE CONSTRUTIVO

A especificação do material por si só já é um fator de risco para o desempenho do material. Entretanto, mesmo bem proposto, não significa dizer que a performance do material vai ser a melhor.

A abordagem do detalhe construtivo deve aliar três fatores: o primeiro é o uso

tecnicamente correto do material, para o seu melhor desempenho possível; o segundo diz respeito à solução adotada pelo projetista como característica do projeto (identificação do autor da obra); e por fim há a racionalização de custos.

A falta do detalhe construtivo permite problemas grosseiros na construção civil. Para CHAMOSA & ORTIZ apud HENRIQUES (2001, p.2), as patologias decorrentes por problemas de projeto na Espanha chegam a 42% enquanto as geradas por execução são responsáveis por 28,4%.

A ausência de respingadores em peitoris e aberturas, a exposição diferencial de planos a variação térmica sem a presença de juntas, a falta de detalhes para drenos de ar condicionado, entre outros, são problemas comumente vistos.

Detalhes arquitetônicos para interromper o fluxo de água que escorre na fachada e grades e caixilhos de esquadrias mais rebuscados foram substituídos pela fachada limpa, onde as sutilezas do detalhe arquitetônico significam adornos. Aliás, a industrialização e a globalização, levaram a perda de uma identidade na ‘Arquitetura dos Trópicos’.

Com a necessidade de padronização e de rapidez de produção, a sistematização do detalhe arquitetônico foi perdida, e o detalhamento para situações condizentes com o clima do Nordeste do Brasil, foi substituído por outros de linguagem internacional.

Esta discussão diz respeito em especial às placas de rocha utilizadas como revestimento de fachada.

Um dos fatores condicionantes da alterabilidade das rochas é a presença da água. Na região litorânea do Nordeste brasileiro tem-se não só a presença da água (umidades relativas maiores que 70%) como também as altas temperaturas e presença de sais. Nas regiões metropolitanas das capitais tem-se um alto potencial de gás carbônico e

fuligem. A falha no detalhamento conduz à fissuração, à infiltração, ao deslocamento e um sem fim de patologias geradas pelo uso. As próprias normas não são objetivas.

Por exemplo: a NBR 13707 (1996, p.5) que rege o dimensionamento e a colocação de juntas de movimentação determina a existência das mesmas quando estas existirem no suporte, quando no encontro com quaisquer elementos distintos que se projetem no plano do revestimento ou para além deste, e no mais, “Cabe ao projetista verificar, em cada caso, a necessidade de juntas de dilatação no revestimento”.

Em situações como as que ocorrem nas inúmeras fachadas da Região Metropolitana de Recife (RMR) onde a insolação é muito alta, as NBRs não levam em conta, na aplicação de juntas, a dimensão da placa de rocha, o seu coeficiente de dilatação térmica ou a sua cor.

As normas generalistas juntamente com o desconhecimento e a desinformação por parte dos projetistas têm dado margem a interpretações equivocadas, desvirtuando o uso da placa de rocha, de maneira que esta tem hoje uma vida útil menor, comprometendo a obra e o uso do material.

A título de exemplo, encontram-se abaixo casos corriqueiros nas edificações da RMR.

A Figura 01 retrata uma abertura na fachada para instalação do ar condicionado. Observa-se a falta de acabamento entre os revestimentos de planos diferenciados: da fachada e o do topo da viga de bordo. Há a presença de material escorrido sobre a empena e de ataque biológico (fungos). A ocorrência principal é a ausência de dreno para o ar condicionado, permitindo o acúmulo constante de água sobre as placas de rocha granítica.



Figura nº 01 – Ausência de dreno para ar condicionado.

A Figura 02 mostra o arremate de uma empena de uma edificação com mais de 40 metros de altura. Não há nenhum tratamento (respingadores) para verter a água para fora

da fachada, direcionando assim seu escoamento da empena para o fundo da viga; os ventos empurram a água em direção ao forro de gesso.



Figura nº 02 – Ausência de respingador entre a empена da fachada e o acabamento inferior da viga de bordo.

O terceiro caso (Figura 03) mostra as furações não projetadas na fachada. A colocação de redes e telas é ponto constante de infiltrações, além dos grampos de fixação

servirem de contaminadores, quando em material oxidável. Observa-se ainda na fachada a presença de fungos e a descamação das rochas.



Figura nº 03 – Colocação de telas de proteção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, é inegável a interferência do detalhe construtivo sobre o desempenho da placa de rocha, especialmente quando esta é aplicada em condições climatológicas adversas.

O profissional precisa entender que um detalhe construtivo bem definido, além de ser uma garantia a mais na vida útil da rocha, pode se caracterizar como um elemento diferencial da obra.

Deve estar ciente que o material uma vez alterado não retoma as características iniciais, e que isso demanda um custo para a sociedade como um todo, principalmente para o ambiente.

Portanto, as informações pertinentes às placas de rocha e seu desempenho precisam ser difundidas no meio técnico de maneira mais enfática, para que problemas decorrentes da falta de informações técnicas não mais comprometam a estética da obra e a vida útil dos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13707**. Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro, 1996, 6p.

GÖSSEL, Peter. LEUTHÄUSER, Gabriele. **Arquitetura no século XX**. 2001, Slovenia. 448p.

HENRIQUES, Fernando M. A. **A noção de qualidade em edifícios**. In: Comunicação ao Congresso Nacional da Construção. Lisboa, 2001.

<http://www.abirochas.com.br/br/index.html>

acessado em 25/08/2005 as 17:10 hs.

MARANHÃO, Flávio Leal. **Patologias em revestimentos aderentes com placas de rocha**. 2002, Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo. 165p.

ROLIM FILHO, José. **Seleção de argamassas para assentamento de rochas ornamentais para pisos e revestimentos**. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, 2002. Anais cursos, 3p.

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA CONFECÇÃO DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS

Moura, Washington A. (1) Gonçalves, Jardel P. (2); Leite Lima, Mônica B. (3)

(1) Eng. Civil, Doutor em Engenharia, professor da UEFS, Universidade Estadual de Feira de Santana, Km. 03 BR 116 (norte) - Campus Universitário, DTEC-LABOTEC, CEP. 44.031-460 - Feira de Santana - BA. Brasil, (75)3224-8310, wam@uefs.br

(2) Eng. Civil, Doutor em Engenharia, pesquisador da UEFS, jardel@uefs.br

(3) Eng. Civil, Doutor em Engenharia, professor da UEFS, mleite@uefs.br

RESUMO

A utilização de resíduos e subprodutos industriais para produção de materiais de construção apresenta-se como uma alternativa para o aumento do desempenho destes materiais. O resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) é resultante do processo de serragem de blocos destas rochas. Neste trabalho foi estudada a viabilidade técnica da utilização do RCMG como agregado miúdo para produção de blocos de argamassa. A análise dos resultados permite concluir que o RCMG não apresenta risco ambiental e que sua utilização na produção de blocos pré-moldados é tecnicamente viável.

INTRODUÇÃO

Grande parte dos processos com atividade econômica são fontes geradoras de resíduos, causando grande degradação ambiental. A Construção Civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e, portanto, parece se apresentar com grande potencial para absorver os resíduos sólidos.

A produção de rochas ornamentais, na maioria das empresas brasileiras, é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Na serragem cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó, onde são colocados nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada

da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240.000 toneladas/ano, distribuídos entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros (GONÇALVES, 2000). Atualmente, este valor pode chegar a 800.000 toneladas. O volume de resíduo gerado é significativo, ocasionando problemas de transporte, de deposição e ambientais.

Neste contexto, tentando contribuir para um maior desenvolvimento sustentável e um maior aproveitamento de resíduos na construção civil, alguns pesquisadores vêm estudando o resíduo resultante do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas (CALMON *et al.*, 1997; Moura *et al.* 2002; CRUZ *et al.*, 2003), tijolos cerâmicos (NEVES *et al.*, 1999), peças cerâmicas (LIMA FILHO *et al.* 1999) e concretos (GONÇALVES, 2000).

Atualmente, um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual de Feira de Santana e da Universidade Federal do Espírito Santo, vem desenvolvendo um projeto de pesquisa que visa a utilização de resíduo de rochas ornamentais (RSRO) para habitação de interesse social. Neste projeto o resíduo está sendo utilizado na produção de blocos de argamassa e de concreto para alvenaria de vedação e estrutural, respectivamente, além de pisos intertravados. O projeto é financiado pela FINEP e com contrapartida do Centro Tecnológico de Mármore e Granito (CETEMAG). Há, inclusive, previsão de transferência de tecnologia para a sociedade.

Para a viabilização técnica é necessário que o resíduo de corte de mármore e granito seja inicialmente caracterizado físico, química e ambientalmente. Este trabalho visa avaliar tecnicamente a utilização do RCMG como substituição de parte do agregado miúdo (areia) para argamassa para produção de blocos pré-moldados.

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RCMG PARA CONFEÇÃO DOS BLOCOS

Materiais Empregados

Na parte experimental foram utilizados cimento, areia, resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) e água. As

características destes materiais estão apresentadas a seguir.

Caracterização do Resíduo de Corte de Granito e Mármore (RCMG)

A amostra do resíduo foi estabelecida de acordo com a NBR 10007/1987- Amostragem de Resíduos, segundo o item 5.1.6, sendo um volume em torno de 5m³. Após a secagem, ao ar, o RCMG foi destorroado em moinho de bolas horizontal, durante 2 minutos.

A caracterização química do RCMG foi realizada no Laboratório de Geociências da UFRGS, cujos resultados estão apresentados na tabela 1. Pode-se observar que o resíduo é composto basicamente de Cálcio, Magnésio, Alumínio e Ferro.

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	9,2
Umidade	(%)	2,8
Matéria Orgânica	(%)	4,7
Cinzas	(%)	92,5
Alumínio	(mg/kg)	4.670,0
Cádmio	(mg/kg)	ND*
Cálcio	(mg/kg)	8.446,0
Chumbo	(mg/kg)	ND*
Cromo	(mg/kg)	ND*
Ferro	(mg/kg)	2.775,0
Magnésio	(mg/kg)	5.463,0
Níquel	(mg/kg)	ND*

ND* = Não Detectado

Tabela 1. Análise química do RCMG utilizado no estudo

Foi realizada difração de raios X do resíduo, conforme figura 1. O difratograma mostra que os compostos químicos presentes no RCMG se apresentam na forma cristalina.

A verificação da granulometria do resíduo foi determinada através de um analisador de partículas, baseado na difração de raios laser, realizada no Núcleo de Sistema Particulado da COPPE. A figura 2 ilustra a distribuição granulométrica do

resíduo. O diâmetro médio das partículas é de 1,035µm. Portanto, mais fino que o cimento.

A massa específica, determinada segundo a NBR 6474/85, é de 2,84 kg/cm³. A massa unitária, realizada conforme NBR 7251/82, é de 1,01 kg/cm³.

Para avaliação do risco ambiental do RCMG foram realizados, na Pro-Ambiente (localizada no Rio Grande do Sul), os

ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de acordo com a NBR 10005/87 e NBR 10006/87, respectivamente. Os resultados são apresentados nas tabelas 2 e 3. Com base nos resultados apresentados no ensaio de lixiviação e solubilização, observa-se que nenhum dos seus compostos apresentou concentração superior em

relação às especificações estabelecidas pela NBR 10004/87 – Classificação dos Resíduos, classificando o resíduo como Classe I – Inerte. Ou seja, o RCGM, não é tóxico nem perigoso.

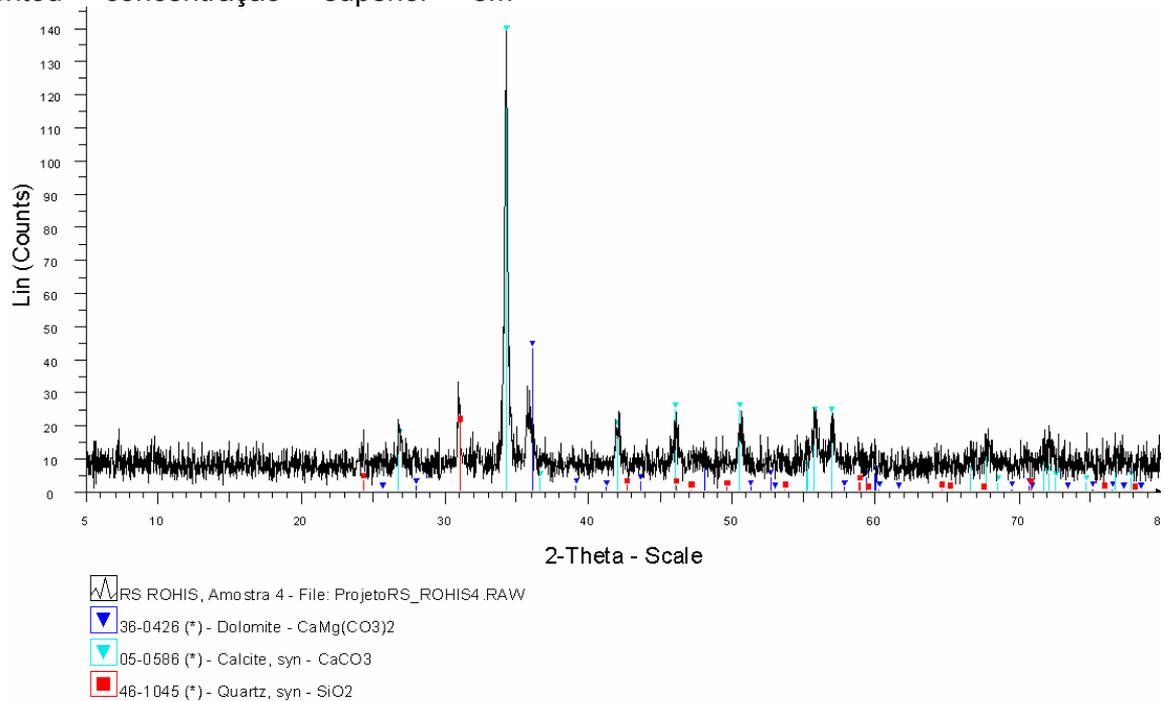


Figura 1 Difratograma de raios X de uma amostra de

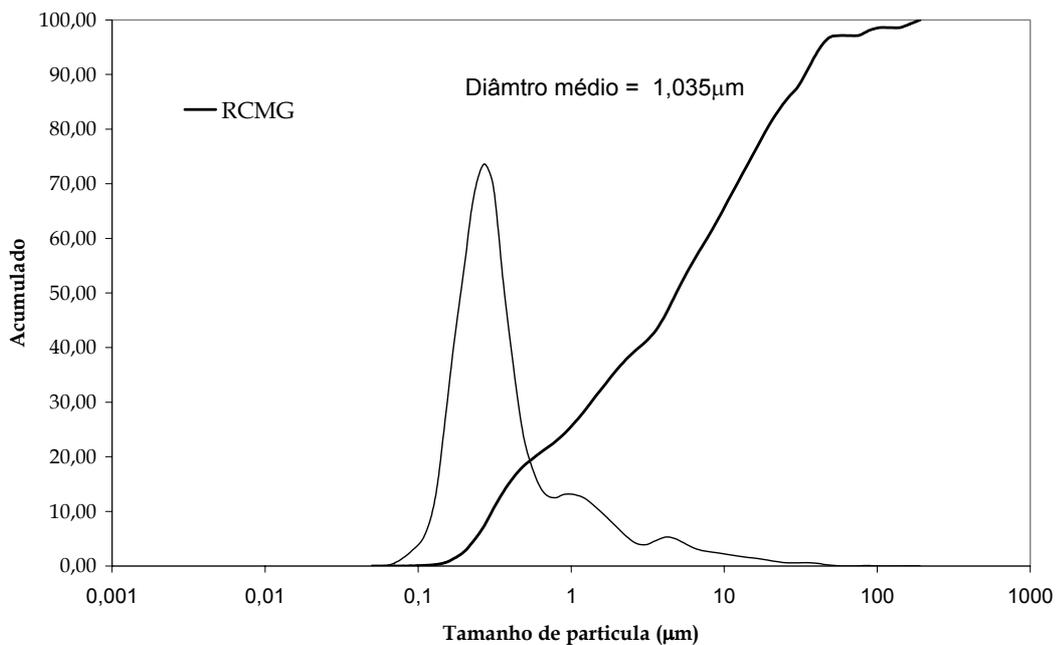


Figura 2 Curva granulométrica do RCMG

Parâmetros	Unidades	Lixiviado (NBR 10005/87)	Limites Máximos (NBR-10.004)
Arsênio	(mg/L)	ND*	1,0
Bário	(mg/L)	ND*	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,1
Fluoreto	(mg/L)	ND*	150,0
Prata	(mg/L)	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	1,0

ND* = Não Detectado

Tabela 2. Resultados do ensaio de lixiviação do RCGM

Parâmetros	Unidades	Solubilizado (NBR 10006/87)	Limites Máximos (NBR-10.004)
Dureza	(mg/L CaCO ₃)	47,7	500,0
Fenóis Totais	(mg/L)	ND*	0,001
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,001
Arsênio	(mg/L)	ND*	0,01
Bário	(mg/L)	ND*	0,7
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,005
Chumbo	(mg/L)	ND*	0,01
Cromo Total	(mg/L)	ND*	0,05
Alumínio	(mg/L)	ND*	0,2
Ferro	(mg/L)	0,1	0,3
Manganês	(mg/L)	ND*	0,1
Sódio	(mg/L)	38,7	200,0
Zinco	(mg/L)	ND*	5,0
Cobre	(mg/L)	ND*	2,0
Prata	(mg/L)	ND*	0,05
Selênio	(mg/L)	ND*	0,01
Cianeto	(mg/L)	ND*	0,07
Fluoreto	(mg/L)	ND*	1,5
Nitrato	(mg/L)	ND*	10,0
Cloreto	(mg/L)	48,0	250,0
Sulfato	(mg/L)	ND*	250,0
Surfactant es	(mg/L)	ND*	0,5

ND* = Não Detectado

Tabela 3. Resultados do ensaio de solubilização do RCGM

Cimento

Foi utilizado para a confecção das argamassas o cimento Portland Comum (CP I – S). A sua composição química, física e

propriedades mecânicas estão apresentadas na tabela 4. Observa-se que o cimento atende aos requisitos da NBR 5732/91.

Compostos	Teor (%)	Resistência fc(MPa)	
SiO ₂	20,17	Idade(dias)	
Al ₂ O ₃	4,06		
Fe ₂ O ₃	3,33		
CaO	60,96		
MgO	3,54		
SiO ₃	3,43	Ensaio Físicos	
K ₂ O	1,1	Índice de pega (min.)	100
Na ₂ O	0,09	Fim de Pega (min.)	180
Na ₂ Oeq	0,81	Finura #200 (%)	0,8
RI	0,28	Finura #325 (%)	5,3
CaO livre	2,15	Superfície específica (cm ² /g)	3460
		Expansão à quente (mm)	1
PF	0,99	Massa Específica(g/cm ³)	3,11

Tabela 4. Características do cimento

Agregado miúdo

Neste estudo foram utilizados dois tipos de agregados miúdos: a) uma areia fina com presença de argila, comumente utilizada

na região; e b) um resíduo da britagem de rochas (pó-de-pedra). As características da areia e do pó-de-pedra estão apresentadas nas tabelas 5 e 6, respectivamente.

Dimensão máx . Característica (mm)	2,4
Módulo de finura	1,60
Massa específica (g/cm ³)	2,60
Massa unitária (g/cm ³)	1,62
Material pulverulento (%)	10,6
Coefficiente de inchamento	1,19
Umidade crítica (%)	2,25

Tabela 5 Características da areia usada na produção das argamassas

CARACTERÍSTICAS	
Dimensão máx . Característica (mm)	4,8
Módulo de finura	4,25
Massa específica (Kg/dm ³)	2,650
Massa unitária (kg/dm ³)	1,60
Material pulverulento (%)	6,1

Tabela 6 Características do pó de pedra usado na produção das argamassas

Água

Fornecida pela concessionária local.

(cimento, areia fina, pó-de-pedra e água). Os teores utilizados de RCMG foram de 5% e 10% em substituição ao cimento, em massa.

BLOCOS DE ARGAMASSAS

No estudo desenvolvido por MOURA *et al* (2002) verificou-se a utilização de RCMG em argamassas promove um incremento no desempenho mecânico de argamassas para revestimento. Este incremento foi à motivação para a produção de argamassas para confecção de blocos.

Os blocos foram produzidos numa fábrica em Feira de Santana, cujo processo é mecânico, podendo reduzir a variabilidade inerente ao processo manual. A proporção unitária dos materiais utilizada para produção dos blocos de referência foi de 1:2,9:2,4:0,67

Como critério de avaliação determinou-se a variação dimensional (NBR 7173), resistência à compressão (MB-116/91) e absorção de água (NBR 12118/91) dos blocos de referência e contendo RCMG. A resistência à compressão foi determinada nas idades de 8, 14 e 40 dias de cura.

Nas tabelas 7 e 8 estão apresentados os resultados de resistência à compressão e absorção por imersão dos blocos, respectivamente. A figura 3 ilustra uma comparação do comportamento dos blocos quanto à resistência à compressão.

RESISTÊNCIA DOS BLOCOS À COMPRESSÃO

	CPs	RESISTÊNCIA COM. (8 DIAS)		RESISTÊNCIA COM. (14 DIAS)		RESISTÊNCIA COM. (40 DIAS)	
		Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
Referência	1	5,8	6,0	6,5	5,4	5,5	6,2
	2	5,5		5,2		7,7	
	3	6,6		4,4		5,4	
5%	1	6,7	5,1	5,6	5,3	6,2	6,1
	2	5,2		6		6	
	3	3,5		4,4		3,8*	
10%	1	4,7	4,7	4,2	5,3	5,8	5,8
	2	6,1		5,8		5,7	
	3	3,2		5,9		3,7*	

* Descartados em função do elevado desvio.

Tabela 7 Resultados de resistência à compressão dos blocos de argamassa

MISTURA	Idade (dias)
	40
	Absorção (%)
Referência	6.7
5%RCMG	6.6
10%RCMG	6.5

Tabela 8 Resultados de absorção dos blocos de argamassas

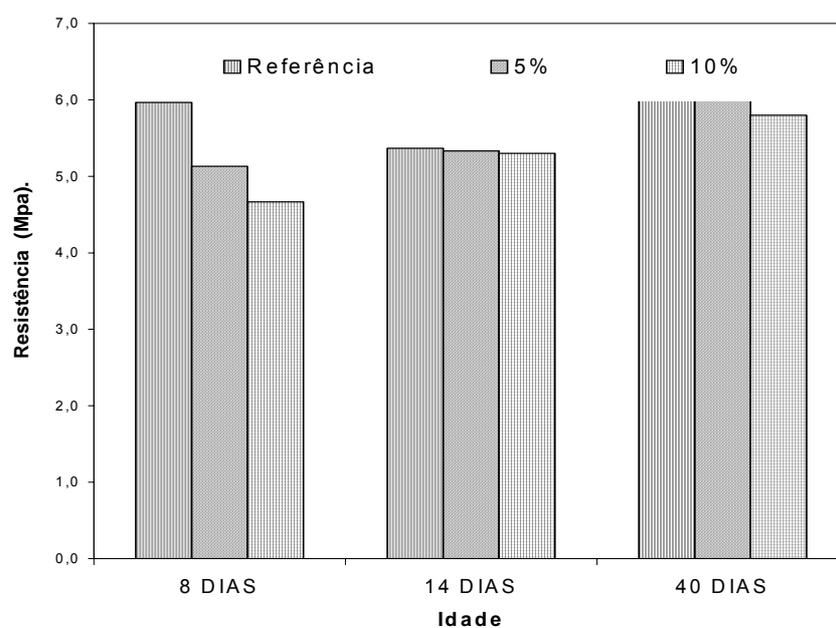


Figura 3 Resultados de resistência à compressão dos blocos de argamassa

A partir da avaliação dimensional verificou-se que os blocos podem ser classificados como do tipo M-10 dimensões 9X19X39.

Todos os blocos, tanto com substituição 5% quanto de 10%, atenderam às especificações da norma quanto à resistência à compressão. Com base nos resultados de resistência à compressão pode-se dizer que com idade de 8 dias os blocos com RCMG apresentaram resistência significativamente menor do que os de referência. Entretanto nas idades de 14 e 40 dias não há diferença significativa entre os blocos com RCMG e os de referência.

Os blocos ensaiados atendem às especificações da MB 3459/91, quanto à umidade e absorção. Observa-se que aos 40 dias os blocos contendo RCMG apresentam valores de absorção menores que os de referência, demonstrando que a presença do resíduo aumenta a dificuldade de penetração de água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do resíduo de corte de mármore e granito na Construção Civil visa contribuir para diminuição do impacto ambiental causado pelo elevado consumo de agregados naturais e pela deposição inadequada do resíduo.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que o RCMG encontra-se na forma cristalina e não apresenta riscos ambientais. A utilização do RCMG para fabricação de blocos, em teores inferiores a 10% é compatível com o desempenho dos blocos sem resíduo. Portanto, é viável utilizar o RCMG até 10% em substituição à massa de cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5732 - Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – NBR 7181 – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – NBR 7217 - Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – NBR 7251 – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT – NBR 9776 - Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco de chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – NBR 10004 - Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 1987.

ABNT – NBR 10005 - Lixiviação de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro. 1987.

ABNT – NBR 10006 - Solubilização de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro. 1987.

BILODEAU, A., MALHOTRA V. A., High-Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development. In: ACI Materials Journal. V.97. Nº 1, Jan/Feb, 2000, USA, p. 41–48.

CALMON, J.L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÉLLO, F.S.S.; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Anais. Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

CRUZ, D. F. M.; LAMEIRAS, R. M.; BARBOZA, A. S. R.; LIMA, L. A. Estudo das propriedades mecânicas de argamassas produzidas utilizando-se resíduo de corte de mármore e granito. In: VI Seminário Desenvolvimento

Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. São Paulo/SP. Out//2003.

GONÇALVES, J. P., Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) para a produção de concretos. (dissertação de mestrado). Porto Alegre/RS. NORIE/UFRGS. 134p. 2000.

LIMA FILHO, V. X., BEZERRA, A. C., SANTOS, F. C., NOGUEIRA, R. E. F. Q., FERNANDES, A. H. M., Determinação de parâmetros para a racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Anais. nov/1999, São Paulo, (a).

MOURA, W. A; GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso. In: Revista Sitientibus, UEFS, Feira de Santana/Ba, v.26, p.49 - 62, 2002.

NEVES , Gelmires, PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C., SILVA, M. C., Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais. Florianópolis/SC. Jun/1999.

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA APROVEITAMENTO DE SOBRAS DE CHAPA NA MARMORARIA

Ubirajara Lira Gomes Júnior

Engenheiro de Minas e Especialista em Logística e Gestão da Produção do SENAI - Depto. Regional da BA
Av. Bonfim, 99 – Bairro Dendezeiro 40-415-000 Salvador/Ba.
e-mail - ubirajarag@fieb.org.br

RESUMO

O presente trabalho refere-se a proposta de se desenvolver uma metodologia para o obter um melhor aproveitamento da matéria-prima, reduzindo as perdas e o aumento da produtividade das empresas produtoras de produtos acabados de mármore e granito, tornando o segmento mais competitivo. A metodologia de trabalho proposta baseia-se na execução do plano de ação e uso de software, para controle e otimização dos processos de confecção de produtos acabados de mármore e granito, permitindo agilidade e confiabilidade na interação das atividades entre a área administrativa e a produção, reduzindo, portanto o tempo improdutivo. Outro aspecto positivo na implementação dessa metodologia é o controle gerencial da matéria-prima e a criação de alternativas de venda da área comercial.

INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais é representada na sua ponta pelas marmorarias - empresas responsáveis pelo acabamento e elaboração dos produtos finais. Estas empresas, além do beneficiamento final, assumem, na maioria das vezes, a prestação de serviços de aplicação dos produtos na construção civil, ou seja: execução de atividades de

revestimentos, pavimentações e a colocação de peças especiais de mármore e granito em geral.

A redução do desperdício de chapas de mármore e granito nas marmorarias, que se encontra em média no patamar de 30%, promoverá, além do aumento de produtividade, por reduzir o tempo de procura de material a ser processada, uma melhor organização do layout do pátio de estocagem, eliminando, portanto os entulhos gerados pela sobras de chapas na área de produção da empresa e uma melhor conscientização dos funcionários de produção, a redução de custos e de tempos e movimentos na produção, estabelecendo as bases necessárias para implantação de programas de qualidade nas empresas.

A falta de gerenciamento e controle da matéria-prima é o principal motivo que leva os gerentes das marmorarias desconhecer a devida importância e inconveniência que as sobras são para as empresas desse segmento.

METODOLOGIA

A metodologia será executada através de um plano de ação (**anexo 1**) associado ao uso de software específico para controle e otimização dos processos de confecção de produtos de mármore e granito,

o qual permitirá maior agilidade e rapidez na comunicação entre a área administrativa e a produção, reduzindo, portanto o tempo improdutivo.

Para desenvolver a metodologia é necessário inicialmente fazer o levantamento e análise preliminar do “lay Out” no chão de fábrica, buscando obter uma visão geral do espaço físico no que se refere a distribuição e organização da matéria prima em toda área da marmoraria. Nesse momento o mais importante é perceber a necessidade de descartar pedaços que não possa transformar em produto com valor agregado, ou seja, peças com dimensões muito pequenas devem ser dado um destino de forma mais proveitosa possível, porém sem a intenção inicial de obter lucro. Dessa forma teremos mais espaços livres no chão de

fábrica para a movimentação e arrumação dos materiais e principalmente as sobras que podem ser transformados em produto com alto valor agregado.

Uma vez definido o lay-out será importante criar um procedimento de arrumação e registro das sobras que tenham dimensões possíveis de serem aproveitados. E para manter a continuidade e manutenção desse trabalho será necessário que os pedaços provenientes do corte de chapas seja registrados e organizados no pátio de estocagem, ver fotos comparativas da organização do antes e depois de uma empresa que foi implementada a metodologia. Esse procedimento deverá ser rigorosamente executado pelo cortador que será responsável pela continuidade dos registros e organização dessas sobras.



Foto 1: Pátio de estocagem de sobras (antes)



Foto 2: pátio de estocagem de sobras (depois)



Foto 3: Pátio de estocagem de sobras (antes)



Foto 4: pátio de estocagem de sobras (depois)

O registro dos cadastros das sobras obtido durante a operação de corte, devem ser disponibilizado à administração para que seja gerenciado o fluxo da informação e possibilite aos encarregados e vendedores o acesso rápido ao tipo de rocha, suas

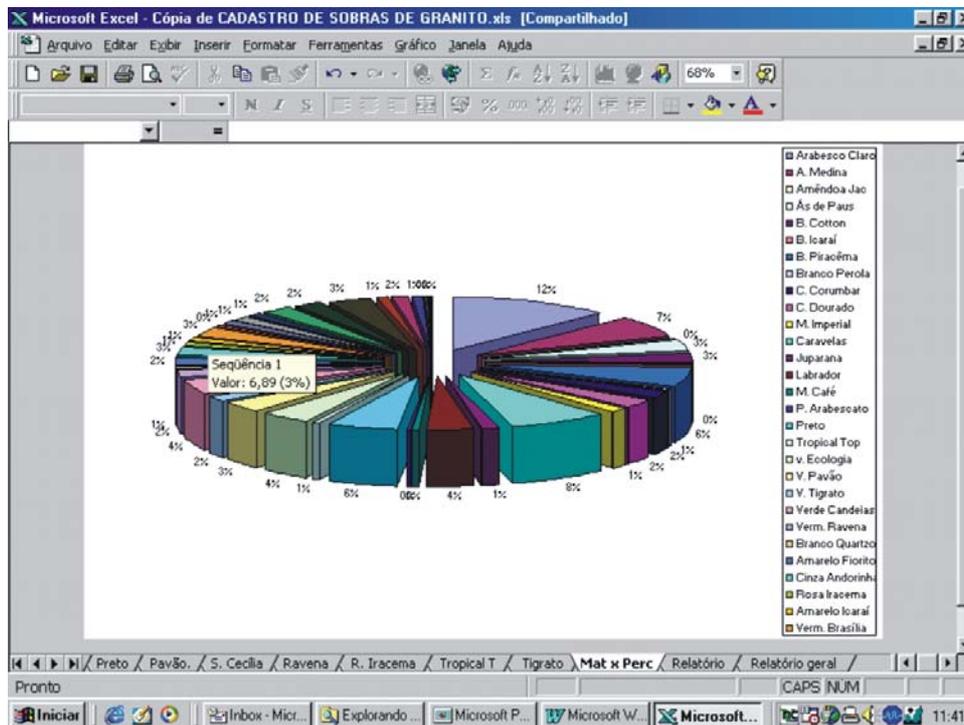
dimensões e onde estar localizado, além das observações dos defeitos que por ventura venham ter. Esses dados estarão de maneira organizada um programa simples do excel, como pode ver na tabela 1 abaixo.

TABELA 1: Planilha de controle de sobra

Microsoft Excel - Cópia de CADASTRO DE SOBRES DE GRANITO xls [Compartilhado]									
Estoque									
GRANITO PRETO									
	Comprimento	Largura	Área em m ²	Espessura	Cavalete	Situação	Observações	Total Estoque	Total Vendido
5	1,65	0,4	0,66		G-1	Estoque		0,66	FALSO
6	1,12	0,55	0,62		G-1	Estoque		0,62	FALSO
7	1	0,65	0,65		G-1	Estoque		0,65	FALSO
8	1,05	0,65	0,68		G-1	Vendido		FALSO	0,68
9	0,85	0,85	0,72		G-1	Estoque		0,72	FALSO
10	0,8	0,55	0,44		G-3	Estoque		0,44	FALSO
11	0,88	0,78	0,56		G-2	Estoque		0,56	FALSO
12	1,20	0,55	0,66		G-2	Estoque		0,66	FALSO
13	0,90	0,80	0,72		G-2	Estoque		0,72	FALSO
14	1,00	0,55	0,55		G-2	Estoque	C/ trica	0,72	FALSO
15	1,00	0,48	0,52		G-2	Estoque		0,52	FALSO
16	0,85	0,50	0,43		G-2	Estoque	Flameado	0,43	FALSO
17	1,35	0,50	0,68		G-8	Estoque		0,68	FALSO
18	1,00	0,50	0,50		G-9	Estoque		0,50	FALSO
19	1,20	0,60	0,72		G-2	Estoque		0,72	FALSO
20	0,75	0,85	0,64		G-2	Estoque		0,64	FALSO
21	1,00	0,60	0,60		G-2	Estoque		0,60	FALSO
22	1,20	0,60	0,78		G-2	Estoque		0,78	FALSO
23	1,00	0,50	0,50		G-2	Estoque		0,50	FALSO
24	1,35	0,60	0,81		G-2	Estoque		0,81	FALSO
25	0,90	0,50	0,45		G-2	Estoque		0,45	FALSO
26	0,70	0,80	0,56		G-2	Estoque		0,56	FALSO
27			0,00			Estoque		0,00	FALSO
28			0,00			Estoque		0,00	FALSO
29			0,00			Estoque		0,00	FALSO
30			0,00			Estoque		0,00	FALSO
31			0,00			Estoque		0,00	FALSO

Para que o fluxo de informação se torne eficiente no gerenciamento e controle das sobras é imprescindível a implantação do programa em sistema de rede de computadores, respeitando as particularidades tecnológicas e operacionais através de adequações.

O acompanhamento através do software em rede facilitará a gestão de processo visando a melhoria contínua do controle e aproveitamento, como por exemplo criar novas estratégias de negócio com material considerado sobra, ver abaixo o exemplo do gráfico com controle estatístico das sobras de mármore e granito que estão sendo gerados durante o processo.



Além do controle das sobras do ponto de vista gerencial dos processos, pode-se com essa metodologia, vislumbrar uma visão financeira dos ganhos efetivos na agregação de valor da matéria-prima, considerada inicialmente como sobra, sendo essas informações geradas automaticamente durante a entrada e saída das sobras de mármore e granito no software, ver planilha 2 e 3 abaixo:

Microsoft Excel - Cópia de CADASTRO DE SOBRAS DE GRANITO.xls [Compartilhado]

Relatório de Aproveitamento de Granito.

T. UC GRANITO	Estoque atual (m³)	(R\$)	Acumulado (m³)	(R\$)	Yendite (m³)	(R\$)
Aracesso Claro	29,32	1.055,34	29,32	1.055,34	0,00	0,00
A. Medina	15,52	539,72	15,52	539,72	0,00	0,00
Amândeo Jac	0,52	17,00	0,52	17,00	0,00	0,00
As de Paus	7,94	517,50	7,94	517,50	0,00	0,00
B. Cotton	4,28	439,03	4,28	439,03	0,00	0,00
B. Escal	1,14	43,13	1,14	43,13	0,00	0,00
B. Piracema	13,44	568,61	13,44	568,61	0,00	0,00
Branco Perola	1,55	60,75	1,55	60,75	0,00	0,00
C. Conurbar	3,44	146,54	3,44	146,54	0,00	0,00
C. Dourado	5,94	210,94	5,94	210,94	0,00	0,00
M. Imperial	2,33	136,33	2,33	136,33	0,00	0,00
Caravelas	18,47	1014,02	18,47	1014,02	0,00	0,00
Juparana	0,57	114,58	0,57	114,58	0,00	0,00
Laborador	0,51	272,27	0,51	272,27	0,00	0,00
M. Café	0,99	25,74	0,99	25,74	0,00	0,00
P. Arabescato	0,44	27,72	0,44	27,72	0,00	0,00
Prato	15,52	775,24	15,60	816,21	0,68	40,95
Tropical Top	1,24	50,40	1,24	50,40	0,00	0,00
V. Ecologia	8,97	304,81	8,97	304,81	0,00	0,00
V. Pavão	7,90	202,80	7,90	202,80	0,00	0,00
V. Tigrado	4,40	134,59	4,40	134,59	0,00	0,00
Verde Candelas	10,49	477,18	10,49	477,18	0,00	0,00
Verm. Ravens	0,51	231,44	0,51	231,44	0,00	0,00
Branco Quartz	0,58	85,08	0,58	85,08	0,00	0,00
Amarillo Florito	4,12	140,32	4,12	140,32	0,00	0,00
Cinza Andorinha	5,29	137,63	4,63	179,11	1,33	34,98

Visualização: Página 1 de 3

Planilha 2: Acompanhamento financeiro

Microsoft Excel - Cópia de CADASTRO DE SOBRAS DE GRANITO.xls [Compartilhado]

RELATÓRIO GERAL

	R\$	%
ESTOQUE TOTAL DE CHAPAS	1.100,00	
ESTOQUE TOTAL	1.100,00	100%
ESTOQUE ATUAL DE SOBRAS	540,00	49%
SOMMA VENCIDAS / COMPILADO DE SOBRAS	2,00	0%
VALOR TOTAL DE ESTOQUE (R\$)	85.715,55	8,83
VALOR TOTAL VENCIDO (R\$)	85.114,00	

Visualização: Página 1 de 1

Planilha 3: Relatório geral

CONCLUSÃO

A importância da informação e controle dos recursos que as empresas dispõem em estoque, principalmente de produto de difícil manuseio, são indispensáveis para reduzir o a perda de matéria prima nas marmorarias.

Quando associadas a existência de mão de obra qualificada ao longo de todas essas fases, teremos percorrido boa parte do percurso na direção de empresa com perfil competitivo. Caso contrário às marmorarias terão dificuldade de posicionar-se como concorrente em relação a outros mercados, prejudicando severamente o setor produtivo.

UTILIZAÇÃO DE LAMA RESIDUAL CARBONÁTICA, PROVENIENTE DE MARMORARIAS, EM CERÂMICA VERMELHA.

Mello, Roberta Monteiro de ^(1,2); mestranda, betamp@yahoo.com.br;
Rodrigues, Eleno de Paula ^(1,2,3,4); geólogo PhD, elenopr@uol.com.br;
Silveira, Gilmar ⁽¹⁾; gilmar-silveira@uol.com.br.

1 – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI / SP

2 – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

3 – Universidade de Guarulhos – UnG

4 – Escola de Engenharia Mauá

RESUMO

Devido à ascensão do setor de rochas ornamentais nos últimos anos, houve um aumento da preocupação com o impacto ambiental causado, tanto na extração destes materiais como em seu processo de beneficiamento. Por este motivo, este trabalho tem como objetivo realizar investigações e aplicações tecnológicas em amostras de lama residual oriundas do processo de manufatura e acabamento de marmorarias, utilizando-as como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha. Foram realizadas caracterizações, tanto da argila quanto da lama, executando-se ensaios granulométricos, e análise por fluorescência de raios-X. Em seguida, foram feitas misturas de argila contendo 0, 8, 16, 24, 32 e 40% em peso da lama, as quais foram queimadas em seis diferentes temperaturas (de 850°C a 1100°C). Sobre os corpos-de-prova foram efetuados os ensaios de: resistência mecânica, absorção de água, porosidade, massa específica aparente e retração a fim de verificar a influência da lama incorporada. Os resultados obtidos revelaram que a adição de até 16% em peso de lama residual carbonática, permite a fabricação de produtos em cerâmica vermelha, com a qualidade requerida pelas normas nacionais.

INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais representa um ponto muito importante para a economia do País devido a sua grande ascensão, principalmente no que diz respeito às exportações, as quais segundo Chiodi⁽¹⁾, bateram novo recorde em 2004, chegando a cifra de aproximadamente US\$ 600,00 milhões, evidenciando um aumento de 39,97% frente ao ano de 2003.

O Estado de São Paulo possui uma modesta exploração de rochas ornamentais, mesmo assim, segundo Mello⁽²⁾, disputa com o Estado do Rio de Janeiro o quarto lugar em importância no setor de rochas ornamentais. Este fato se dá devido a grande quantidade de marmorarias existentes em São Paulo (estima-se 3000 no Estado, com pelo menos, 1000 na capital) que respondem pelo beneficiamento de grande variedade de rochas e pela produção de enorme quantidade de peças acabadas.

O motivo da existência deste elevado número de marmorarias voltadas para o beneficiamento de rochas no Estado de São Paulo é o grande poder de consumo, o qual corresponde à cerca de 50% do consumo nacional.

Assim como em todos os outros setores produtivos, no setor de rochas ornamentais existe uma crescente preocupação com os rejeitos gerados tanto na extração como no beneficiamento. Tais rejeitos tendem a atingir dimensões insuportáveis pela população, caso não recebam corretas disposições e não se desenvolvam novas formas e métodos para seu efetivo aproveitamento.

Em face deste quadro, há alguns trabalhos voltados para o aproveitamento dos resíduos gerados, principalmente no emprego no setor cerâmico. Destacam-se os trabalhos de: Menezes et al.⁽³⁾, Moura et al.⁽⁴⁾, Moreira et al.⁽⁵⁾ e Xavier et al.⁽⁶⁾, os quais utilizaram o resíduo gerado da extração e serragem das rochas.

No entanto, com a grande quantidade de marmorarias instaladas no Estado de São Paulo, optou-se por realizar um trabalho de pesquisa voltado especificamente ao aproveitamento do resíduo gerado apenas do acabamento de rochas ornamentais e realização do produto final.

Durante visitas realizadas a empresas paulistas, observou-se que algumas delas trabalham quase que exclusivamente com mármore, ou com granitos. Em decorrência disso, apresenta-se neste trabalho os resultados obtidos a partir do estudo realizado em marmorarias beneficiadoras preponderantemente de mármore (rochas carbonáticas, que englobam calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados como matérias-primas para realização deste trabalho um argilito procedente da região de Jundiá (interior de São Paulo), e uma lama residual coletada de empresa localizada em Diadema

(Grande São Paulo), a qual trabalha basicamente com mármore.

Para a realização das análises química, mineralógica e térmica, as amostras foram secas, cominuídas e peneiradas (utilizando-se a fração passante em #200)

A análise química foi realizada por fluorescência de raios-x, usando-se um aparelho marca Shimadzu modelo XRF-1800; a análise térmica diferencial (ATD) em um aparelho com taxa de aquecimento de 10°C/min e temperatura final de leitura de 1000 °C.

Além destas caracterizações mineralógicas e químicas referidas, as amostras foram submetidas à análise granulométrica por difração a laser, através do equipamento de marca Coulter, modelo LS Particle Size Analyser.

Sobre o argilito e também com as misturas entre argilito e a lama nas proporções de 8, 16, 24, 32 e 40% em peso foram determinados os limites de Atterberg, segundo as normas NBR 6459 e 7180^{(7),(8)}, com o intuito de avaliar a trabalhabilidade do material, prevendo-se assim, seu comportamento no processo de conformação.

Após estes ensaios preliminares foram confeccionados os corpos-de-prova com dimensões de 12cm x 2cm x 2cm, utilizando-se misturas entre argilito e lama nas mesmas proporções citadas acima. Para tanto, as amostras foram misturadas em galga, depois levadas ao laminador, descansadas durante 48 horas e, finalmente, passadas em extrusora.

Os corpos-de-prova foram inicialmente secos ao ar livre por 48 horas, levados a em estufa Thermosolda climatizada de laboratório à temperatura de 110°C por 24 horas e queimados em forno Combustol com atmosfera oxidante,

velocidade de aquecimento de 40°C/h e 2 horas de patamar, nas temperaturas de: 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1050°C e 1100°C, com resfriamento natural durante a noite.

Foram realizados ensaios de retração linear e tensão de ruptura à flexão (nos estados seco e queimado), baseados na norma NBR 13818⁽⁹⁾. Índices de absorção d'água, porosidade e Mea foram determinados com base na norma NBR

8947⁽¹⁰⁾, tanto em corpos-de-prova resultantes de misturas, quanto naqueles conformados apenas com argilito (os quais são considerados como referência).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise química: A seguir são apresentados na tabela I os resultados das análises químicas obtidas por fluorescência de raios-x:

Tabela I – Análise Química das matérias-primas utilizadas

	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Lama (%)	41,44	5,78	0,31	0,21	0,06	41,31	9,73	< 0,001	0,17
Argila (%)	5,50	61,51	17,28	6,27	0,78	0,68	2,94	1,16	4,12

A análise química acima demonstra que a lama apresenta teores característicos de rochas carbonáticas, como mostra Norton⁽¹¹⁾ devido ao seu alto teor de Perda ao Fogo, de CaO e MgO. Além disso, o teor de SiO₂, Na₂O e K₂O são muito baixos, contrariando aqueles encontrados em rochas silicáticas.

De acordo com Santos⁽¹²⁾, a análise química da lama apresenta características de um material calcário dolomítico tanto por apresentar um teor de 9,73% de MgO (entre 4,3 e 10,5) quanto por apresentar um valor de 0,23 na relação entre MgO/CaO (entre 0,08 a 0,25).

Já o argilito é considerado um material fundente por sua análise química, uma vez que, apresenta teores altos de óxidos fundentes como Fe₂O₃, Na₂O e K₂O, além disso, apresenta uma coloração avermelhada na queima caracterizada pela presença acentuada de Fe₂O₃.

Avaliação da plasticidade - O índice de plasticidade (IP) está representado no gráfico 1, a seguir:

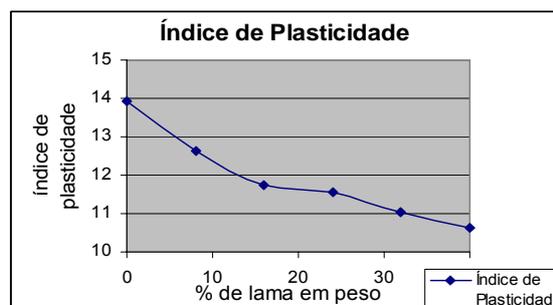


Gráfico 1 – Índice de plasticidade

Através do gráfico 1, pode-se observar uma queda bem considerável do índice de plasticidade, uma vez que o material proveniente da lama de marmoraria é constituído apenas por materiais não plásticos, o que torna as misturas menos plásticas através de sua adição. A partir da mistura de 16%, as misturas já começam a

serem consideradas mais fracas, ou seja, com pouca plasticidade, porém ainda com índice suficiente para extrusão de acordo com Gibo⁽¹³⁾.

Análise granulométrica: Abaixo pode-se observar o resultado da análise granulométrica feita por difração a laser.

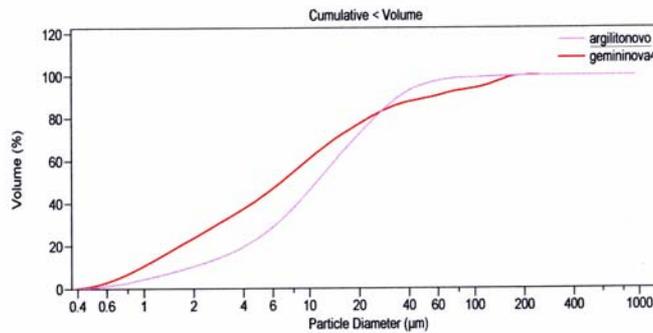


Gráfico 2 – Análise granulométrica das matérias primas

Pelo resultado obtido nota-se que a lama apresenta-se em sua maior parte mais fina que o argilito, isso porque, o argilito foi utilizado em uma granulometria semelhante àquela utilizada no processo produtivo das empresas de Jundiáí, tendo assim, um baixo índice de beneficiamento. No entanto, a lama apresenta-se em uma granulometria já

aceitável em um processo produtivo de cerâmica vermelha, sem ao menos, ter passado por qualquer processo de beneficiamento.

Análise Térmica: De acordo com os gráficos 3 e 4 abaixo pode-se concluir que:

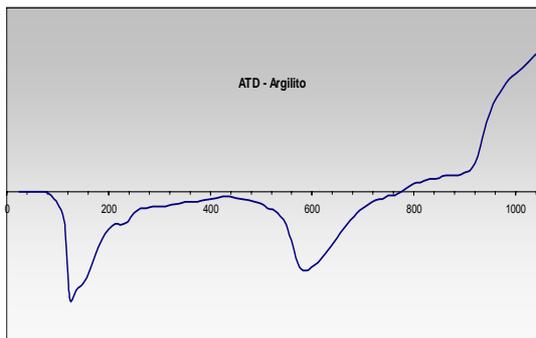


Gráfico 3- Análise Térmica Diferencial do argilito

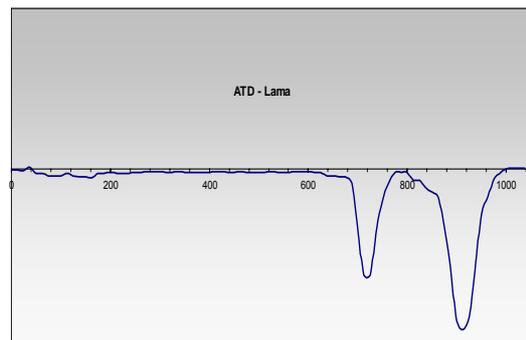


Gráfico 4- Análise Térmica Diferencial da lama

Segundo P.S. Santos⁽¹⁴⁾ e F.H. Norton⁽¹¹⁾, o gráfico 3 apresenta um pico endotérmico a aproximadamente 200°C representante de perda de água adsorvida, bem como a aproximadamente 600°C indicando saída de hidroxilas. Além disso, é possível observar a formação de um pico exotérmico sendo formado inicialmente perto dos 900°C, indicando a nucleação da mulita.

Já no caso da curva de análise térmica da lama (gráfico 4), é possível a verificação

de um pico endotérmico muito próximo de 725°C e um segundo entre 900°C e 950°C, que ao ser confrontado com a análise química demonstra que há decomposição da dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$) e da calcita CaCO_3 .

Ensaio Físicos: A seguir são demonstrados os gráficos de resultados dos ensaios físicos, possibilitando assim, a observação de seu desempenho.

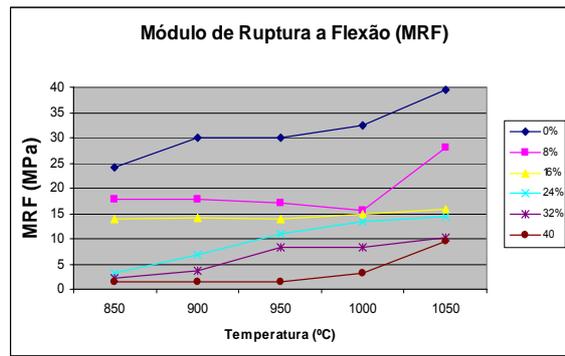


Gráfico 5 - Retração Linear

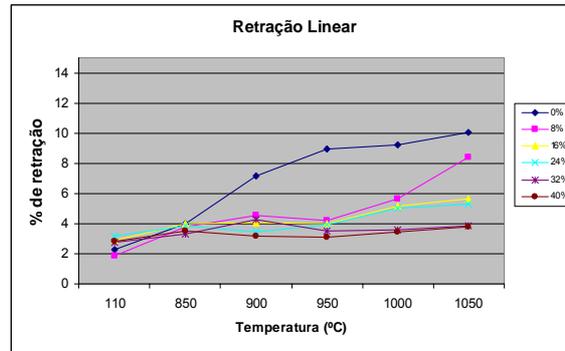


Gráfico 6 - Módulo de Ruptura a Flexão

O gráfico 5 traz a retração do material, tanto à seco quanto queimado, nota-se que o material a seco, apresentou uma retração de 2% a 3%, sem muitas variações com a adição de resíduo, porém com o material queimado, principalmente na temperatura de 950°C a adição de resíduo diminui acentuadamente a retração do material, uma vez que, há uma diminuição proporcional do material plástico na massa.

Entretanto, a diminuição da retração (sendo um ponto positivo para a massa) trouxe consigo a desvantagem da diminuição do Módulo de Ruptura à Flexão, como mostra o gráfico 6, a qual se torna muito acentuada e agravante ao se tratar do material à seco, uma vez que a diferença chega a mais de 20 MPa do material sem resíduo para os materiais com 24%, 32% e 40%, sendo que para as formulações de 8% e 16% estas diferenças foram bem mais sutis.

Em contrapartida, mesmo com resultados de aproximadamente 3MPa a seco apresentados pelas formulações de 24%, 32% e 40%, segundo Santos⁽¹²⁾, elas ficam enquadradas juntamente com argilas consideradas de plasticidade normal, sendo que o próprio argilito, bem como as formulações de 8% e 16% encaixam-se como argilas de plasticidade muito alta.

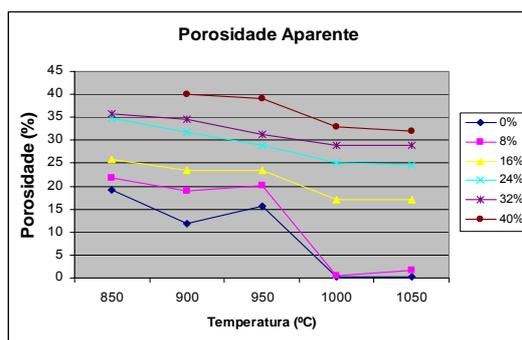


Gráfico 7 - Porosidade Aparente

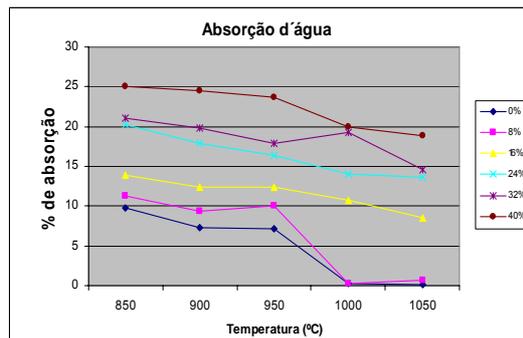


Gráfico 8 - Absorção dá água

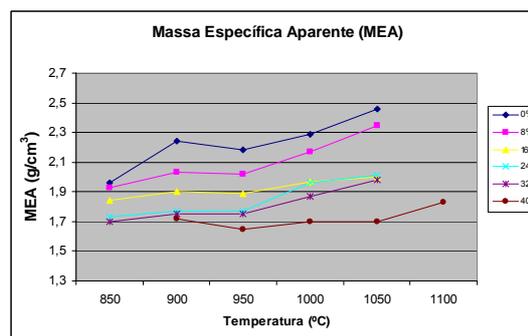


Gráfico 9 - Massa Específica Aparente

De acordo com as normas NBR 9601⁽¹⁵⁾, NBR 7172⁽¹⁶⁾ e NBR 13582⁽¹⁷⁾ (específicas para telhas) o valor máximo de absorção d'água aceitável é de 18% para telhas tipo romana, sendo mais amplo para outros tipos, chegando até 20%. Comparando este limites com os resultados do gráfico 6 pode-se garantir a utilização de lama em até 16%, sendo a mesma limitação para a sua utilização em revestimentos de acordo com a norma NBR 13818⁽⁹⁾.

Já para blocos o limite se torna uma pouco maior (de 8 a 25%), sendo possível a incorporação da lama em até 40% acima de 900 °C, ficando bem próximo do limite, contudo para uma maior garantia dos resultados e melhor desempenho do produto, convém consentir sua utilização em até 32% da lama.

Do mesmo modo, acontece com a porosidade e a massa específica aparente, apresentadas respectivamente nos gráficos 7 e 9, uma vez que com o aumento da lama, há um aumento de saída de carbonatos, conseqüentemente maior porosidade, maior absorção e conseqüentemente menor massa específica aparente.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a lama utilizada foi caracterizada pela presença predominante de resíduo de mármore, evidenciado pela análise química e análise térmica diferencial (ATD), a qual ao ser incorporada no argilito (chamado de massa padrão) diminuiu a plasticidade da massa, no entanto sem maiores prejuízos para o processo de extrusão, claro que, com a vantagem de não ter que utilizar-se de nenhum processo de beneficiamento do material

De acordo com os ensaios físicos realizados (visando analisar a tendência de desempenho de um produto de cerâmica vermelha) constatou-se que de uma maneira geral, a lama diminui a resistência mecânica e aumenta a porosidade e absorção d'água, o que normalmente não é muito desejável, porém, se a mesma for adicionada ao argilito em até 16% em peso não compromete o desempenho do material perante normas pré-estabelecidas, isso para qualquer produto de cerâmica vermelha. Esta margem de lama adicionada é maior (chegando a 32%) quando se trata de blocos especificamente.

Portanto, é viável a utilização desta lama na indústria cerâmica incorporada em porcentagens acima determinadas, levando em consideração a diminuição do impacto ambiental causado pelo descarte deste material, bem como o não beneficiamento do material para a sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de Ensaio: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de Ensaio: NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água – Método de ensaio: NBR 8947. Rio de Janeiro, 1985. 01 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica de capa e canal – Especificação: NBR 9601. Rio de Janeiro, 1986. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica Tipo Romana – Especificação: NBR 13582. Rio de Janeiro, 1986. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica Tipo Francesa – Especificação: NBR 7172. Rio de Janeiro, 1987. 04 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Placas Cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio: NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2004 – novo recorde histórico de crescimento. – Anais do 1º Congresso Internacional de Rochas Ornamentais.

MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: características, perspectivas e ações para inovação e competitividade. Anais do 1º Congresso Internacional de Rochas Ornamentais.

- MENEZES, R.R.; NEVES, G.A. E FERREIRA, H.C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.2, p.303-313, 2002.
- MOREIRA, J.M.S.; FREIRE, M.N. e HOLANDA, J.N.F. Utilização do resíduo de serragem de granito proveniente do Estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. Cerâmica, v.49, n.312, p.262-267, out./dez.2003.
- MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P.; LEITE, R.S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.49-61, jan./jun. 2002.
- NORTON, F. H. Introdução à Tecnologia Cerâmica. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda,1973. 324p.
- SANTOS, P. S. Ciências e Tecnologia das Argilas. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda,1989. 1v.
- SENAI – DN. Matérias Primas Cerâmicas. Por Leila Maria das Neves dos Santos. São Paulo, 2002.
- SENAI – DN. Determinação da umidade e plasticidade. Por Ricardo Minoru Gibo. São Paulo, 2002.
- XAVIER, et al. Estudo da adição de resíduos da serragem do mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha. – Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica.

UTILIZAÇÃO DE LAMA RESIDUAL SILICÁTICA (GRANÍTICA), PROVENIENTE DE MARMORARIAS, EM CERÂMICA VERMELHA.

Mello, Roberta Monteiro de ^(1,2); mestranda, betamp@yahoo.com.br;
Rodrigues, Eleno de Paula ^(1,2,3,4); geólogo PhD, elenopr@uol.com.br;
Silveira, Gilmar ⁽¹⁾; gilmar-silveira@uol.com.br.

1 – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI / SP

2 – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

3 – Universidade de Guarulhos – UnG

4 – Escola de Engenharia Mauá

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da aplicação da lama proveniente do acabamento de granitos como matéria-prima em produtos de cerâmica vermelha, a fim de diminuir o impacto ambiental causado pela lama gerada em marmorarias, bem como reduzir a extração de argila utilizada em indústrias de cerâmica vermelha. A lama (coletada de uma marmoraria) e o argilito foram caracterizados através de: análise granulométrica, análise térmica diferencial e análise química por fluorescência de raios-X. Após caracterização das matérias-primas, foram confeccionados corpos-de-prova com teores de 0% a 40% de lama incorporada, os quais foram queimados em temperaturas de 850°C a 1100°C. Em seguida, foram analisados os resultados através dos seguintes ensaios: resistência mecânica, absorção de água, porosidade, massa específica aparente e retração com a intenção de comparar a amostra padrão (somente argila) com as amostras que contém lama incorporada. Os resultados obtidos foram satisfatórios para todas as misturas produzidas, demonstrando a viabilidade de adição de lama residual silicática para a fabricação de produtos (telhas, blocos e revestimentos) em cerâmica vermelha.

INTRODUÇÃO

As exportações no setor de rochas ornamentais têm aumentado quase

invariavelmente na última década de acordo com Chiodi⁽¹⁾, mostrando que novo recorde foi batido no ano de 2004, onde a taxa de crescimento das exportações de rochas (+39,97%) foi superior ao crescimento do total das exportações brasileiras (+32,0%).

Fato interessante é que o crescimento em volume físico das exportações (+20,17%) é praticamente metade do faturamento (+39,97%), demonstrando assim, o crescimento do valor agregado dado as rochas resultante do aumento do processo de beneficiamento das rochas exportadas.

O aumento da exportação e produção de rochas ornamentais traz consigo um aumento da preocupação com o impacto ambiental gerado por estas empresas, as quais geram uma lama sem um destino específico.

Esta lama residual está classificada dentro do grupo de “resíduos de construção e demolição” os quais são destinados a aterros ou, muitas vezes são depositados de forma irregular, gerando prejuízos para as empresas e para sociedade. Esta deposição em lugares inadequados e sem autorização, têm sido relacionada com problemas cotidianos como enchentes, causadas por assoreamentos dos córregos, prejuízos às paisagens, obstrução de vias de tráfego e com a proliferação de doenças.

Alguns trabalhos de incorporação do resíduo proveniente da extração e corte de rochas já foram realizados como por exemplo: Menezes et al.⁽²⁾, Moura et al.⁽³⁾,

Moreira et al.⁽⁴⁾, Xavier et al.⁽⁵⁾, contudo não foi realizado um estudo direcionado à lama gerada através do beneficiamento e produção de produtos finais.

Por este motivo, decidiu-se com este trabalho fazer um estudo desta lama, uma vez que o Estado de São Paulo é um representante muito importante do processo de beneficiamento de rochas ornamentais, fato demonstrado pelo número de marmorarias destinadas apenas a este fim (3000, sendo 1000 na capital). Além disso, optou-se pela lama gerada em uma marmoraria que trabalha basicamente com rochas silicáticas (onde se enquadram os granitos), uma vez que estas foram as que tiveram o maior aumento na exportação (+36,47% em valor e 6,19% em peso).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, utilizou-se o argilito como principal matéria-prima para confecção dos corpos de prova. O argilito que segundo Van Vlack⁽⁶⁾ significa uma rocha endurecida composta por argilominerais com estrutura em camadas, é muito utilizado na produção de Cerâmica Vermelha na região de Jundiá (S.P.), local de extração do argilito utilizado.

O processo de cominuição do argilito foi realizado pela própria empresa que realizou a extração, chegando com uma granulometria utilizada no processo produtivo das empresas da região.

A lama utilizada foi retirada de uma empresa localizada na região do ABC Paulista (Estado de São Paulo), a qual trabalha com uma produção de aproximadamente 90% de granito. Este rejeito é proveniente do acabamento de peças, deste modo foi utilizado da maneira a qual é retirado da empresa, isso até para evitar qualquer gasto com o beneficiamento do rejeito.

A caracterização das amostras foi feita por determinação da análise química por fluorescência de raio-x modelo XRF-1800 Shimadzu e análise mineralógica por difração de raio-x também de marca Shimadzu. Para

realização destes ensaios as amostras foram secas, desagregadas e passadas em #200, assim preparadas também para os ensaios de Análise Térmica Diferencial (ATD), sendo utilizado um aparelho com taxa de aquecimento de 10°C/min e temperatura final de leitura de 1000 °C.

A análise granulométrica foi realizada no aparelho de difração a laser da marca Coulter, modelo LS Particle Size Analyser.

Visando avaliar a trabalhabilidade do argilito, bem como da mistura argilito-lama, foram determinados os limites de Atterberg, segundo as normas NBR 6459 e 7180^{(7),(8)}, tanto da argila isoladamente, quanto das misturas argilito-lama.

As misturas realizadas entre argilito e a lama foram nas proporções de: 0%, 8%, 16%, 24%, 32% e 40%. Para a realização das misturas foram utilizadas as seguintes etapas: mistura das matérias-primas e acerto de umidade em galga, passagem da mistura em laminador e descanso da massa por 48 horas e conformação dos corpos-de-prova (12cmx2cmx2cm) em extrusora.

Os corpos-de-prova foram secos primeiramente ao ar livre por 48 horas, seguida de secagem em estufa Thermosolda climatizada de laboratório à temperatura de 110°C por 24 horas e queimados em forno Combustol com atmosfera oxidante, em seis diferentes temperaturas: 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1050°C e 1100°C com velocidade de aquecimento de 40°C/h, 2 horas de patamar e resfriamento natural durante a noite.

Foram aplicados os seguintes ensaios físicos nos corpos-de-prova conformados: retração linear e tensão de ruptura a flexão à seco e queimado, baseados na norma NBR 13818⁽⁹⁾, absorção d'água, porosidade e Mea baseados na norma NBR 8947⁽¹⁰⁾

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Química: Abaixo é apresentado na tabela o resultado das análises químicas tanto do argilito, quanto da lama:

Tabela I – Análise Química das matérias-primas utilizadas

	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Lama (%)	2,86	68,01	14,99	3,67	0,54	2,28	0,73	1,65	4,82
Argila (%)	5,50	61,51	17,28	6,27	0,78	0,68	2,94	1,16	4,12

De acordo com os resultados obtidos, observamos que a lama demonstra uma tendência à composição de rochas silicáticas, uma vez que as mesmas apresentam teores altos de quartzo e feldspato, evidenciados pelos altos teores de SiO₂ e K₂O. A composição química da lama analisada é muito parecida com a análise de granito puro assim como demonstrado por Norton⁽¹¹⁾, onde este material apresenta um teor de SiO₂ por volta de 70% e Al₂O₃ por volta de 15%, muito semelhante com a lama analisada, assim como os outros óxidos com valores bem semelhantes.

Além disso, percebe-se que a presença de rochas carbonáticas é praticamente nula, uma vez que o teor de Perda ao Fogo é demasiadamente baixo, pois de acordo com análises apresentadas pelo mesmo autor⁽¹¹⁾, uma rocha calcária apresenta normalmente teores de P.F. acima

de 25%. Tão baixo quanto a Perda ao Fogo estão os teores de CaO e MgO, os quais também se apresentam em maior quantidade em rochas calcárias.

O argilito, por sua vez, demonstra comportamento de uma argila fundente, uma vez que apresenta altos teores de óxidos fundentes como: Fe₂O₃, Na₂O e K₂O.

Índice de Plasticidade: Abaixo, no gráfico 1, evidencia-se a diminuição do índice de plasticidade das misturas feitas causada pela adição da lama. Este comportamento era previsto, uma vez que esta lama constitui-se unicamente de materiais não plásticos. Porém segundo Gibo⁽¹²⁾, esta diminuição não afeta significativamente o processo de extrusão, sendo que este é o processo produtivo mais utilizado em cerâmica estrutural.

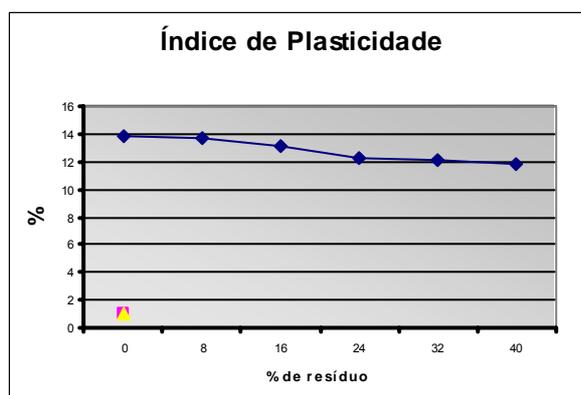


Gráfico 1- Índice de plasticidade das misturas

Análise granulométrica: A seguir, no gráfico 2, são expostos as análises granulométricas da lama e do argilito utilizados:

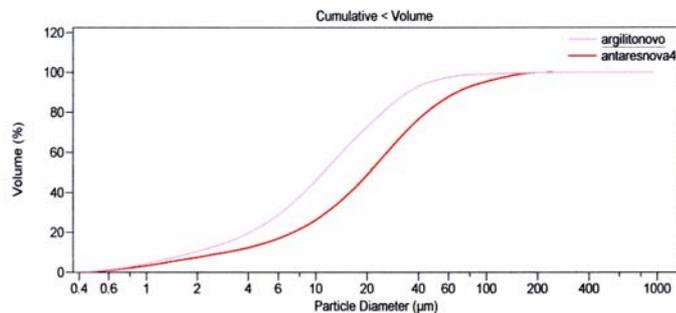


Gráfico 2 – análise granulométrica das matérias-primas

De acordo com o gráfico, têm-se dois materiais de granulometria relativamente grossas (tendo apenas cerca de 10% dos grãos menores que $2\mu\text{m}$), principalmente do argilito, por se tratar de um material argiloso. Isso ocorre, porque do mesmo jeito que a indústria o argilito, foi também utilizado no projeto, ou seja, demonstrando como as indústrias utilizam materiais grosseiros no seu processo produtivo. Apesar da pequena diferença, o argilito demonstrou-se mais fino que a lama, a qual mesmo sem passar por

nenhum processo de beneficiamento, apresentou granulometria média em torno de $15\mu\text{m}$, sendo possível sua aplicação em cerâmica, uma vez que a média de grãos é similar ao de uma matéria-prima cerâmica não plástica.

Análise Térmica: Os gráficos a seguir (3 e 4) tratam-se das análises térmicas diferenciais (ATDs) realizadas tanto no argilito, como na lama de marmoraria respectivamente:

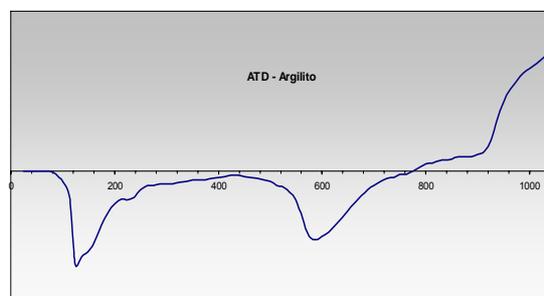


Gráfico 3 – Análise Térmica do argilito

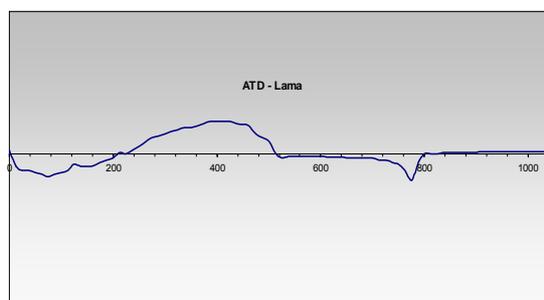


Gráfico 4 – Análise Térmica da lama

De acordo com o gráfico 3 pode-se observar que: segundo F.H. Norton⁽¹¹⁾, o argilito apresenta um pico endotérmico de saída de água adsorvida a 200°C, bem como a saída de hidroxilas a 600°C representado por um pico também endotérmico. Além disso, é possível observar a formação de um pico exotérmico a 900°C, indicando o início da nucleação da mulita.

Já o gráfico 4 demonstra um pico de pequena intensidade a aproximadamente 110°C representando a saída de água livre, picos de pequena intensidade acima de

550°C, correspondentes às transformações de quartzo-a em quartzo-b, além de picos endotérmicos correspondentes a perda de hidroxilas à 750°C. Esta análise térmica, em conjunto com a análise química, evidencia que não há evidências significativas da presença de mármore, uma vez que além de conter baixos teores de P.F., CaO e MgO, a mesma também não apresenta saída de carbonatos.

Ensaio Físicos: Abaixo, estão os resultados dos ensaios físicos realizados nos corpos de prova:

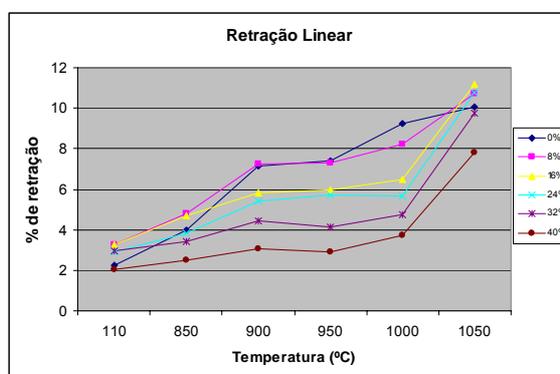


Gráfico 5 - Retração Linear

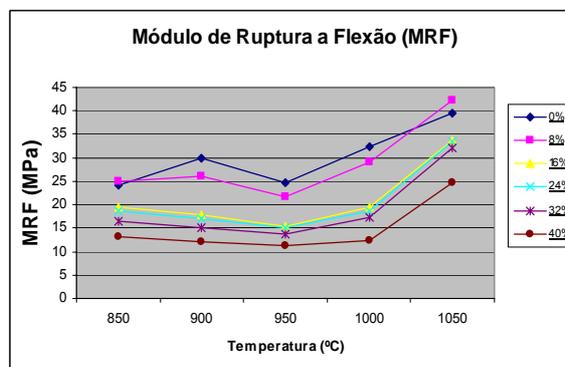


Gráfico 6 - Módulo de Ruptura a Flexão

De acordo com o gráfico 5, nota-se que a retração a seco (110°C), não evidencia diferenças significativas entre os corpos de prova padrão (apenas argilito) e àqueles com a lama, independente da porcentagem introduzida. Conforme o aumento da temperatura de queima, começa haver uma diferença significativa na retração do material chegando a ter diferenças de aproximadamente 4% do material com maior quantidade de lama (40%) e o material

padrão. Esta diminuição da retração se dá, pela diminuição de material argiloso em substituição de um material mais estável, com menor quantidade de perda ao Fogo.

Porém, com a diminuição da retração, vem também uma diminuição da resistência mecânica (gráfico 6), tanto à seco quanto queimado, porém sendo aceitáveis os valores demonstrados pelos corpos de prova com lama.

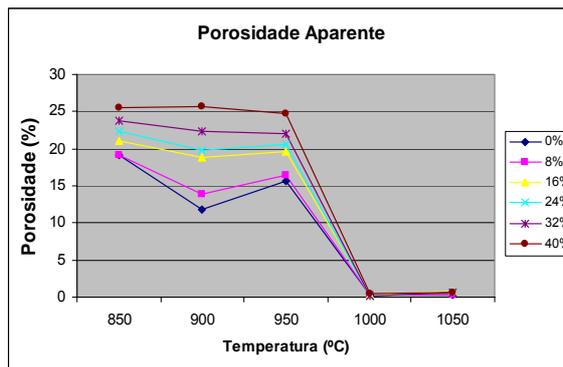


Gráfico 7 - Porosidade Aparente

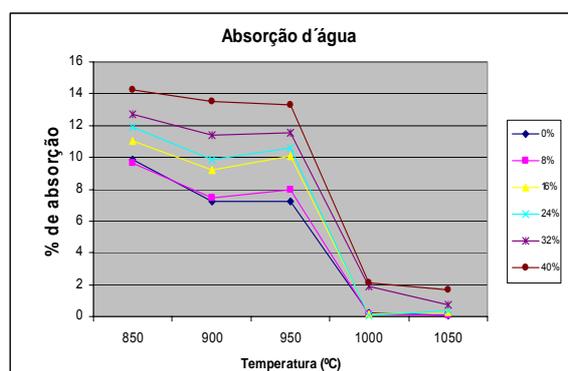


Gráfico 8 - Absorção d'água

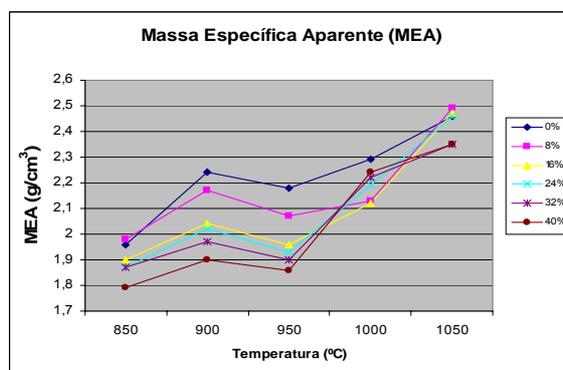


Gráfico 9 - Massa Específica Aparente

Os resultados da absorção d'água exemplificado no gráfico 8 demonstra que os maiores resultados obtidos foram na temperatura de 850°C, sendo valores de aproximadamente 9 a 14%, sendo o aumento proporcional com a adição de lama, contudo com o aumento de temperatura, há uma diminuição significativa da absorção, principalmente na temperatura de 1000°C (de 0% a 2%). O critério de aceitação desta propriedade para telhas é estabelecido, por enquanto, em cada norma específica para cada tipo de telha, por exemplo, NBR 9601⁽¹³⁾, NBR 7172⁽¹⁴⁾ e NBR 13582⁽¹⁵⁾, estabelecendo os menores valores para

telhas tipo romana (18%), com isso, qualquer um dos valores apresentados, para qualquer temperatura estaria dentro dos valores estabelecidos por norma, bem como a porosidade aparente (gráfico 7)

A aceitação dos valores de absorção d'água encontrados nos corpos de prova também podem ser considerados, conforme NBR 7171⁽¹⁶⁾, a qual determina que não deve ser inferior a 8%, nem superior a 25%.

Este mesmo material também pode ser considerado para fabricação de revestimentos porosos e semi-porosos, os

quais apresentam respectivamente valores de 6 a 10% , e 10 a 20%, conforme norma NBR 13818⁽⁹⁾, sendo que a partir de 1000 °C os corpos de prova se igualam a absorção de materiais como grês e semi-grês.

Em conseqüência de uma maior porosidade, os corpos de prova diminuíram sua massa específica aparente (gráfico 9) conforme aumentou-se a concentração de lama na massa, porém sem uma diminuição muito significativa.

CONCLUSÕES

De acordo com os estudos realizados pôde-se concluir que os resultados obtidos foram satisfatórios no que diz respeito a esta lama proveniente basicamente de granito (como evidenciado nas análises térmicas e químicas). Mesmo atentando para o detalhe que ao se adicionar lama, as propriedades físicas vão sendo, de certa forma, prejudicadas, é fato que nenhuma delas, seja em qualquer porcentagem incorporada apresentou-se fora, ou muito próximas, de limites pré-estabelecidos por normas de produtos tais como: telhas, blocos e revestimentos.

Torna-se significativamente interessante esta utilização em cerâmica vermelha, o fato da diminuição significativa do impacto ambiental, visto que este material não seria mais descartado no meio ambiente, além é claro, que a sua utilização seria imediata no processo produtivo, sem precisar de nenhum processo de beneficiamento. Com isso, pode ser determinada a viabilidade da utilização da lama proveniente do acabamento e beneficiamento de granito em indústria de cerâmica vermelha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bloco Cerâmico para alvenaria – Especificação: NBR 7171. Rio de Janeiro, 1983. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do Limite

de Liquidez – Método de Ensaio: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de Ensaio: NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água – Método de ensaio: NBR 8947. Rio de Janeiro, 1985. 01 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica de capa e canal – Especificação: NBR 9601. Rio de Janeiro, 1986. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica Tipo Romana – Especificação: NBR 13582. Rio de Janeiro, 1986. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha Cerâmica Tipo Francesa – Especificação: NBR 7172. Rio de Janeiro, 1987. 04 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Placas Cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio: NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2004 – novo recorde histórico de crescimento. – Anais do 1º Congresso Internacional de Rochas Ornamentais.

MENEZES, R.R.; NEVES, G.A. E FERREIRA, H.C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.2, p.303-313, 2002.

MOREIRA, J.M.S.; FREIRE, M.N. e HOLANDA, J.N.F. Utilização do resíduo de serragem de granito proveniente do Estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha.

Cerâmica, v.49, n.312, p.262-267, out./dez.2003.

MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P.; LEITE, R.S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.49-61, jan./jun. 2002.

NORTON, F. H. Introdução à Tecnologia Cerâmica. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda,1973. 324p.

SENAI – DN. Determinação da umidade e plasticidade. Por Ricardo Minoru Gibo. São Paulo, 2002.

Van Vlack, L.H. (1970). Princípios de Ciências dos Materiais. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 427p.

XAVIER, et al. Estudo da adição de resíduos da serragem do mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha. – Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica.

A INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA E A REABILITAÇÃO DE PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

*Prof. Dr. Adilson Curi¹
Francisco César Rodrigues de Araújo²
Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa³*

¹ Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, curi@demin.ufop.br

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, francisco-ca@uol.com.br

³ Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, trigueiro@demin.em.ufop.br

RESUMO

O Brasil tem uma extensa tradição mineradora e um acúmulo, através dos anos, de muitas paisagens alternativas em virtude da extração mineral. Este trabalho trata da paisagem como parte integrante da recuperação de áreas degradadas. Sugere também algumas técnicas para minimizar o impacto visual causado por minas e pedreiras antes, durante e após a exaustão. São relatados alguns princípios básicos para elaboração de um projeto de paisagem aplicados no trabalho de reabilitação de áreas degradadas pela mineração, indiferente à localização. É apresentado ainda um estudo sobre modelagem de taludes finais e pilhas de estéril, e a recuperação da paisagem através de revegetação. No planejamento moderno de paisagens devem ser utilizados recursos de informática para modelagem digital de terreno, facilitando e melhorando o projeto paisagístico final.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma extensa tradição mineradora e um acúmulo, através dos anos, de muitas paisagens alternativas em virtude da extração mineral. Ciente dos impactos da mineração, o público em geral, critica, cada vez mais, as atividades do setor de mineração e seus planos de expansão, especialmente quando a mineração ocorre

em regiões biologicamente sensíveis ou adjacentes às áreas urbanas. A razão para esta crítica é simples: - abandonadas, as áreas mineradas, em sua maioria, não se recuperam, pelos meios naturais, num curto espaço de tempo. Muitos dos problemas ambientais são provocados pela ausência de medidas preventivas e falta de uma recuperação efetiva. São necessários meios que diminuam os impactos e aumentem o processo natural de recuperação dos terrenos afetados.

A degradação da área é inerente ao processo de mineração. A intensidade desta degradação depende do volume minerado, do método de lavra e dos estéréis e rejeitos produzidos. A disposição adequada destes estéréis e rejeitos deve ser considerada como parte integrante do projeto de mineração. Esta disposição deve considerar a formação de uma paisagem estável, onde a poluição devida às poeiras e às águas pluviais sejam minimizadas e o terreno volte a ser auto-suficiente e produtivo. O habitat da fauna deverá ser restabelecido resultando numa paisagem esteticamente agradável. (Bezerra 2005).

Até o passado recente, a reconstituição do terreno minerado era considerada um simples complemento do processo de mineração. Atualmente, essa reconstituição é cada vez mais necessária, e exigida pelos órgãos ambientais e pelo

público em geral, e tem o objetivo de dar uma nova forma às áreas afetadas pela mineração e pela deposição de estéril. Este trabalho de reconstituição pode ser otimizado através do planejamento integrado, de todos os processos de lavra, e administração dos trabalhos deste as fases iniciais das explorações. As vantagens mais evidentes dessa iniciativa são o melhor uso da terra após a lavra das pedreiras e a redução dos custos de reabilitação no processo de fechamento da pedreira (EPA,1995).

Este trabalho focaliza o aspecto mais visível da reconstituição dos terrenos afetados pelas lavras á céu aberto, incluindo as pedreiras, ou seja, a integração das paisagens afetadas com o seu entorno. Trata da paisagem como parte integrante da recuperação de áreas degradadas. Sugere também algumas técnicas para minimizar o impacto visual causado pelas minas antes, durante e após a exaustão.

Paisagem e uso da terra.

O termo paisagem engloba muitas definições. Certos autores a estudam sob o ponto de vista puramente estético como combinação de determinados elementos: o relevo, as formas, as cores e etc; outros a consideram sob uma perspectiva ecológica entendendo-a como o resultado do "complexo de interrelações derivadas da interação entre rochas, água, ar, plantas e animais" (Dunn,1974 citado por Jimeno et. al, 1988).

As explorações mineiras produzem um efeito visual negativo que pode alterar o caráter da paisagem, com causas diversas. As principais fontes de impacto visual na mineração são as áreas de escavação, as pilhas de estéreis, as instalações fixas de beneficiamento de minerais e os equipamentos pesados usados na lavra e transporte de minérios (Jimeno, 1988, citado por Curi, 2005).

Pode-se programar para que plano de reabilitação da área minerada comece o quanto antes na vida mina. Este plano incluiria a integração paisagística. Há, assim, a necessidade de identificação dos fatores que irão compor a paisagem futura, ou final.

Paisagem e uso da terra estarão sempre inter-relacionados (Curi, 2005). Um claro entendimento sobre o uso da terra pós-mineração, acordado entre os diversos interessados, é um pré-requisito essencial para o planejamento da paisagem. A paisagem final deve considerar as características ambientais que suportarão o seu uso final. A opção mais apropriada para dar nova destinação à terra depende de uma série de fatores incluindo o clima, a geologia, o tipo de solo, as características hidrológicas locais, a topografia e o uso final da terra escolhido.

Na seqüência são analisados alguns princípios sobre o projeto de reconstituição de paisagem naturais os quais devem ser aplicados no trabalho de reabilitação de pedreiras:

Compatibilidade hidrológica com as áreas do entorno

O escoamento final, resultante das águas componentes dos diversos trechos de escoamento superficial, deverá ser compatível com a vazão dos cursos d'água disponíveis em terras ao redor. A reformulação precisa deverá inserir todos os trechos de escoamento superficial até seus alcances máximos e incluindo estimativas de volume e velocidade. O objetivo deverá ser a diminuição, ao máximo possível, dos efeitos da erosão e carreamento de partículas sólidas do terreno. Sugere-se que a área compreendida pelo projeto de escoamento superficial não exceda, significativamente, a área pré-mineração. Isto para que se evite riscos de erosão além da área minerada (EPA, 1995).

Formação de um sistema de drenagem integrado

Este é, talvez, um dos aspectos mais difíceis do projeto de paisagem. Isto demanda uma visão integrada de toda a mina e sua evolução no tempo futuro e a identificação (já nos estágios iniciais) dos locais mais adequados para a localização dos sistemas de drenagem que devem estar

interconectados aos canais naturais dos terrenos do entorno da pedreira.

Densidade de drenagem

A densidade de drenagem descreve o número de cursos d'água drenando uma área. Ela é expressa como o comprimento total de todos os cursos d'água, por unidade de área. A densidade de drenagem pré-mineração é um marco muito utilizado para o projeto de um novo sistema, mas a lavra origina mudanças nas características do terreno original como elevação do ângulo de talude, diminuição da cobertura vegetal e a redução da resistência à erosão da nova superfície. Estas alterações provocam mudanças na densidade de drenagem original. O uso pós-mineração pode também influenciar na densidade de drenagem. Por exemplo, a terra a ser utilizada para cultura intensiva em terrenos planos terá, provavelmente, uma baixa capacidade de drenagem. A Figura 1 apresenta um exemplo de linhas de fluxo de drenagem e a ordem das linhas de fluxo principais. A ordem das linhas de fluxo é uma ordenação matemática simplificada, derivada dos atributos das linhas de fluxo. A primeira ordem corresponde à menor linha de fluxo (em volume) identificada, sendo que a segunda ordem é derivada pela confluência de duas linhas de primeira ordem. A terceira ordem é derivada pela confluência de duas linhas de segunda ordem, e assim sucessivamente. O propósito da ordenação dos linhas de fluxo é catalogar, em tamanho e escala, os vários fluxos e também avaliar *qualitativamente* os efeitos erosivos que podem ser produzidos pelo "trabalho" de um curso de água ou mesmo um rio em particular. (Gregory & Walling, 1973, citado por EPA, 1995).

Uma das primeiras providências a tomar, ao se propor a integração paisagística de uma área, é o aproveitamento da topografia do entorno e sua vegetação. Deve-se procurar, na medida do possível, conciliar o espaço natural existente com local da exploração; bem como as zonas transitáveis e instalações fixas. Deve-se sempre vislumbrar a possibilidade de aproveitamento da vegetação natural existente para ocultação das áreas afetadas.

As áreas de escavação devem ser executadas, preferencialmente, nas vertentes opostas às áreas mais visíveis ou aos corredores visuais, como as estradas. Isto permitirá a ocultação natural das pedreiras a partir dos pontos mais visíveis (impactantes). O ideal é proceder-se à abertura da cava na zona mais alta com uma geometria tronco cônica, deixando sem extrair uma parte do jazimento para que sirva de cortina visual frente aos observadores próximos e também de cortina sônica contra os ruídos produzidos pelas detonações de explosivos e equipamentos pesados. Outra vantagem, quando os terrenos o permitam, é aproveitar no futuro a cava criada para depósito de água, de resíduos urbanos, etc. (Jimeno, 1988 citado por Curi, 2005).

Portanto, a orientação das frentes e a direção de avanço são fatores importantes que devem ser considerados no intuito de reduzir o impacto visual produzido pelas minas. As frentes de avanço podem orientar-se de modo que a parte ativa não seja tão visível a partir dos pontos principais de observação (como estradas e vilas).

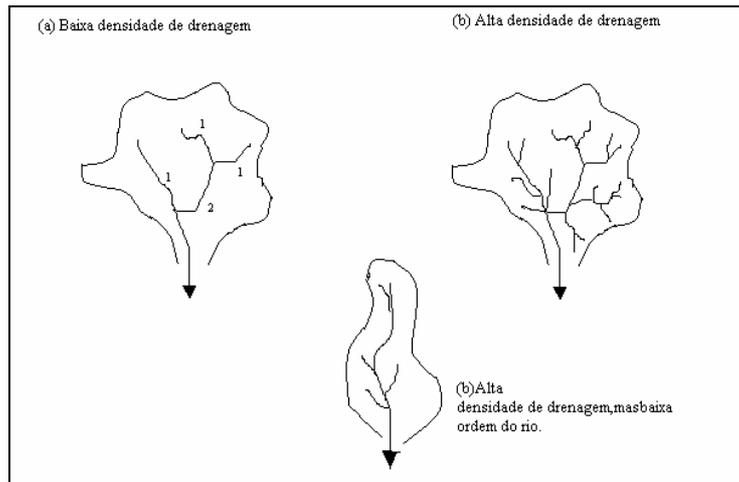


Figura 1: Princípios de Densidade de Drenagem e Ordem dos rios (Hannan, citado por EPA, 1995).

Em relação aos acessos às explorações é importante e necessário que estes tenham traçados em forma de “J”, ficando as cavas de exploração de fora da visão direta, através dos principais pontos de observação da área (estradas). Deve-se ficar atento, também, aos pontos de entrada ou de cruzamento com a rede viária principal de modo que estes estejam distantes das curvas onde a visibilidade dos motoristas é limitada. Um recurso muito em voga é a utilização de cortinas visuais como elementos adicionais de ocultação. Os tipos de cortinas visuais geralmente usados na mineração são três e estão relacionados aos materiais construtivos, ou seja: - estéreis de mina, vegetação natural ou artificial e combinação dos tipos anteriores (cortina mista). Pode-se utilizar árvores e arbustos autóctones e/ou estéreis procedentes da mina, modificando o relevo natural.

Configuração dos taludes finais

O objetivo da modelagem de taludes é corrigir ângulos, comprimentos e formas tornando os taludes compatíveis com a paisagem do entorno e favorecendo o uso futuro da área alterada pela diminuição da erosão. A erosão atua nos taludes até que seja atingido um ângulo geral estável; segundo as condições peculiares de cada da área, incluindo o tipo de solo, volume de escoamento superficial e vegetação. A processo natural de estabilização dos taludes, geralmente, conduz a um perfil do

talude (Figura.2) que é inicialmente convexo (correspondendo no máximo a 20 ou 30% de comprimento total) e depois côncavo (correspondendo de 70 a 80% do comprimento total). Em taludes estáveis há, predominantemente, combinações de ângulos de talude e vegetação superficial que mantêm a velocidade de escoamento superficial aproximadamente constante levando a processos pouco erosivos. A Figura 2 ilustra perfis de talude segundo os comentários acima.

A modelagem dos taludes finais torna-se necessária para se conseguir um perfil que seja geotecnicamente estável e integrado com a morfologia característica do terreno do entorno e que facilite a implantação da vegetação, embora o ideal fosse o preenchimento da cava final. Mas, nem sempre isso é possível. Existem inúmeros fatores que determinam ângulos de talude satisfatórios. A aceleração dos processo erosivos está relacionada à combinação dos efeitos dos ângulos do talude, comprimento e forma inadequados, entre outros fatores. Para qualquer ângulo de talude considerado, seu comprimento não deverá exceder, em geral, àquele do talude original da área, antes do distúrbio. Taludes muito longos devem ser re-configurados para prover linhas de fluxo d’água em uma densidade de drenagem apropriada com direcionamento do fluxo diagonalmente (ao redor do talude e através de uma série de linhas d’água pequenas e paralelas).

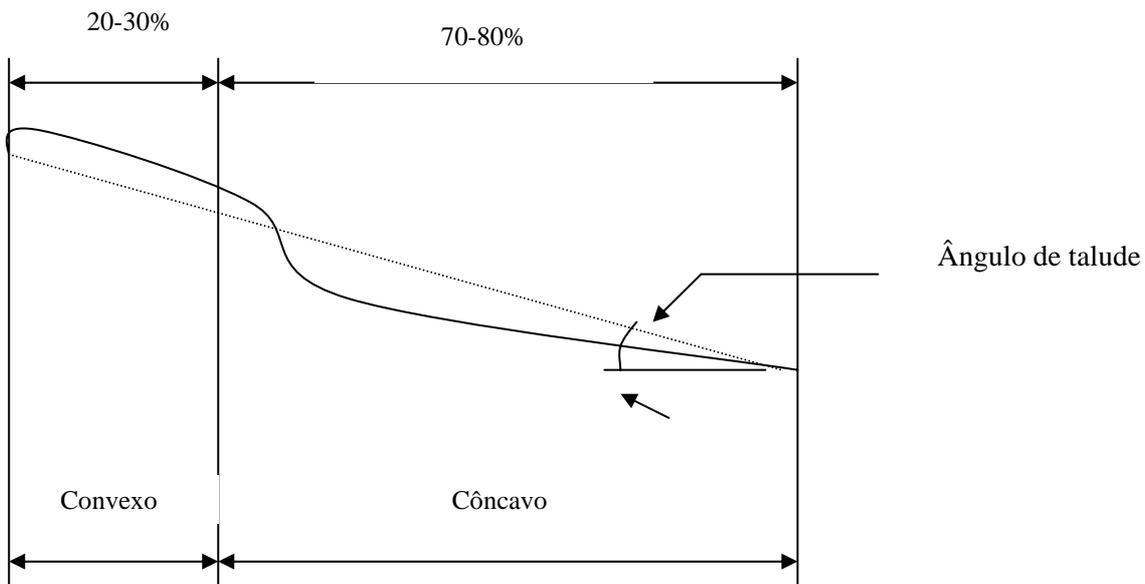


Figura 2 (a): Perfil Preferencial

Talude mínimo (uso de bermas)

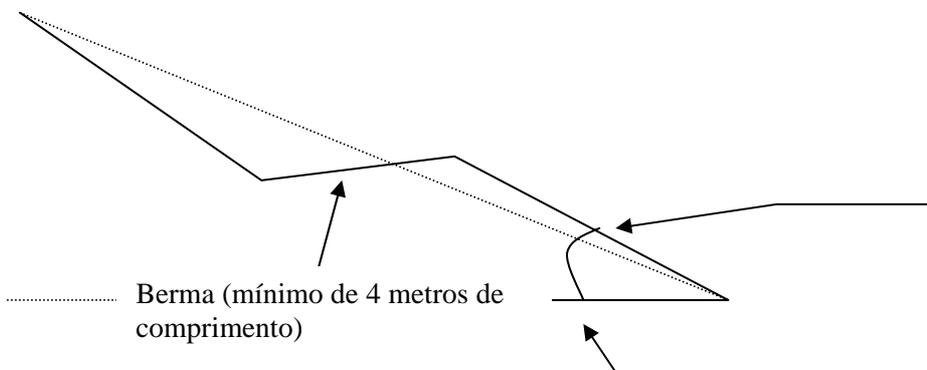


Figura 2 (b): Projeto de perfil quando características extremas limitam a distância.

Figura 2: Projetos de Perfis de Talude (Hannan, 1995 citado por EPA, 1995)

Quanto às técnicas de tratamento de taludes, estas dependerão das condições de estabilidade, tipo e dimensões da frente de trabalho, disponibilidade de materiais de empréstimo ou preenchimento, natureza desse material e possibilidade de execução simultânea das operações. Os taludes em forma de bancos apresentam maiores possibilidades de recuperação que taludes altos (únicos). A implantação da vegetação nas bermas ajuda a romper a continuidade e uniformidade do talude melhorando sua

aparência visual. É interessante, em muitos casos, diminuir a inclinação geral das explorações e se isso não for possível; a inclinação dos taludes parciais dos bancos, deixando pequenas bermas ou praças sobre as quais se acumula material fino e fragmentado. Este material fino facilita o estabelecimento da vegetação. As bermas funcionam também como elementos de proteção contra a caída ocasional de pedras. Uma prática habitual consiste em desmontar as cristas dos bancos com a

finalidade de reter os fragmentos de rocha nas bermas passando estes a se constituir em um substrato potencial para a vegetação, ao mesmo tempo em que se reduzem as fortes inclinações das frentes de lavra e se rompe com a linearidade e os ângulos retos das formas (Jimeno, 1988, citado por Curi, 2005).

O preenchimento parcial das frentes de lavra é a solução que permite atingir-se o estado mais próximo do original, conseguindo um perfil do terreno que seja mais suave, diminuindo assim o impacto paisagístico.

Pilhas de estéril – disposição e modelagem

A disposição de qualquer área para depósito de estéril depende em primeiro lugar do fator econômico, pois os estéreis não podem ser transportados para um lugar muito distante, se se pretende que a exploração seja rentável.

A segunda limitação é geológica pois, antes de escolher o local do depósito, é obrigatório certificar-se de que o subsolo não está mineralizado, ou se está não reúne nenhuma expectativa de exploração futura. (Jimeno, 1988).

Existem, também, outros parâmetros como as características fisiográficas onde se assentará a pilha de estéril. As propriedades geotécnicas e hidrogeológicas dos materiais de apoio, as características visuais da paisagem, a conformação geométrica do depósito, os tipos de materiais que constituem a pilha, etc.

Entre as características visuais se encontram as relacionadas com a posição dos observadores. As possibilidades de

ocultação mediante o aproveitamento dos acidentes do terreno são grandes.

Por exigências técnicas e ambientais, foram estabelecidos alguns critérios básicos para se conseguir que diminua o impacto visual exercido por estas estruturas:

- Procurar optar por pilhas de estéreis mais amplas, evitando-se as muito altas;
- Deve-se evitar que altura da pilha de estéril ultrapasse a cota de altitude do entorno para que assim não se destaque na linha do horizonte;
- As linhas curvas sobre superfícies suaves produzem um efeito visual menor que as linhas e cortes retos sobre superfícies planas;
- As litologias (material rochoso) de cores fortes e contrastantes intensificam e agravam as sensações óticas dos observadores ao divergir do colorido suave da vegetação natural;
- Procurar construir as pilhas de tal forma que se tornem o menos impactante possível principalmente em termos de susceptibilidade à erosão. O maior objetivo será alcançar um esquema de drenagem apropriado e que seja compatível com a área ao redor. A necessidade de propor perfis de talude (i.e. convexo acima de 20-30% e côncavo abaixo de 70-80%, como comentado) deve ser colocada em mente durante o cálculo do volume e do preenchimento da pilha. Estes perfis tendem a se formar naturalmente durante a reformulação de pilhas

Em frentes de lavra, pilhas ou bancos de minas onde a reabilitação progressiva seja requerida deve-se atentar à relação entre os ângulos de talude e o tipo de vegetação a ser implantado (Veja Figura 3).

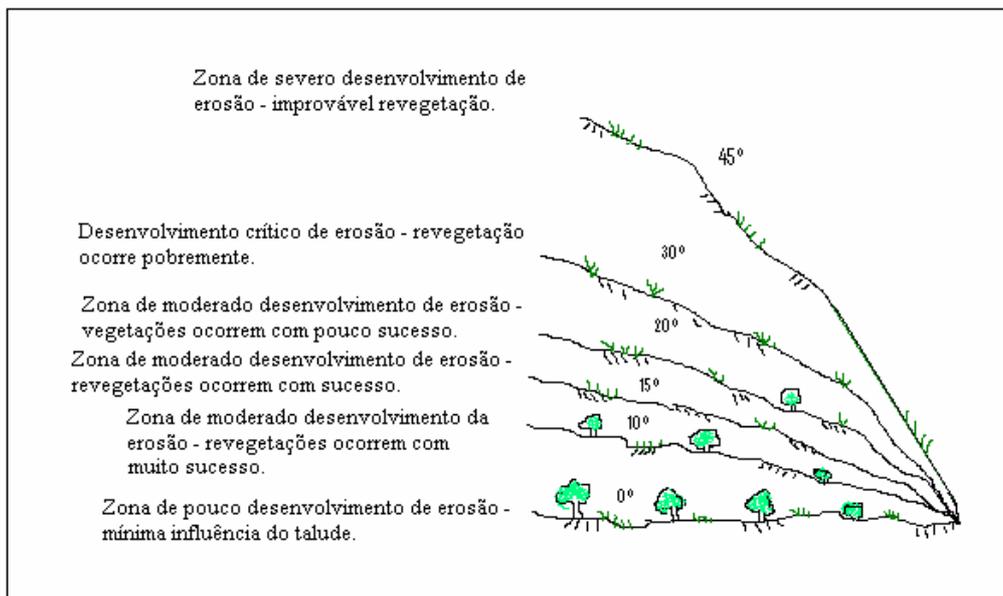


Figura 3: Influência do ângulo do talude na revegetação e erosão (Department of Minerals and Energy, WA 1996 citado por EPA ,1995).

Vegetação

Na maioria dos casos, o recobrimento efetivo e oportuno com vegetação é o melhor e mais eficaz caminho para minimizar os efeitos indesejáveis da mineração. Entretanto, não se pode afirmar que o revestimento vegetal resolverá os problemas de todas as áreas. Cada situação deve ser avaliada, para que se determinem os impactos e a melhor maneira de fazer a recuperação. Uma parte importante no processo de recuperação é estabelecer condições apropriadas para a germinação de sementes e o crescimento de plantas. A preocupação com objetivos a curto prazo e o desejo de produzir uma resposta visual imediata para a recuperação têm, em muitos casos, conduzido ao uso de espécies de crescimento rápido.

Espécies para recuperação devem ser selecionadas, tendo em vista os objetivos a curto e longo prazos, as condições químicas e físicas dos locais de plantação, o clima, a viabilidade de sementes, a taxa e a forma de crescimento, a compatibilidade com outras espécies a serem plantadas e outras condições específicas do local. Além disso, a consorciação de espécies para uma determinada operação de mineração deve variar de acordo com a mudança das condições mencionadas acima. Deve ser

considerado benéfico o uso de oito a dez combinações de espécies diferentes em uma determinada operação de mineração. Entretanto, a seleção de espécies é específica para cada situação local e para as condições diversas dentro de uma determinada mina. Portanto, as recomendações somente podem ser feitas em termos gerais. Sempre que possível, as espécies nativas devem ter preferência sobre as introduzidas. Estas, em geral, criam problemas em algum ponto no futuro, como, por exemplo, a suscetibilidade a doenças ou insetos, a exclusão de outra vegetação desejável, inibição do ciclo de nutrientes, suscetibilidade ao fogo, exclusão da fauna, uso excessivo da água, interrupção e supressão de interação biológica etc. Mesmo o eucalipto, que é considerado uma das espécies mais benéficas introduzidas no Brasil, é banido em alguns países, em virtude do impacto biológico indesejável. Considera-se o Brasil como possuidor da mais rica flora, em termos de espécies, do mundo. E há muitas razões para se acreditar que todas as espécies necessárias para revegetação podem ser encontradas dentro do Brasil. Entretanto, encontrar, identificar e testar espécies para uma recuperação adequada é um processo lento, e, ao mesmo tempo, simultaneamente, a recuperação deve realizar-se. Por causa disso, alguma dependência de espécies introduzidas terá

que continuar por algum tempo. As espécies introduzidas podem contribuir mais significativamente na procura de objetivos a curto prazo. Se o controle de erosão é um destes objetivos, algumas espécies de gramíneas introduzidas são bem adaptadas para produzir uma rápida cobertura protetora para o solo. Se a produção de lenha é outro objetivo a curto prazo, o eucalipto aparece como insuperável em termos de produção.

É importante considerar as leguminosas na seleção de espécies, em virtude da possibilidade de fixar o nitrogênio da atmosfera. Estas parecem ser muito benéficas para o controle da erosão e para o enriquecimento do solo, e um número de espécies nativas, como o *Schrankia* spp., parece ser adequado para o uso em recuperação. A fauna deve ser considerada quando se selecionam espécies de plantas para recuperação. A recuperação não deve somente empenhar-se em restabelecer o habitat faunístico, mas deverá atrair a fauna para os locais recuperados, com o propósito de incrementar a diversidade de espécies de plantas. Uma técnica é incluir árvores frutíferas na combinação de espécies. Os animais, especialmente pássaros e morcegos, são atraídos pelas árvores e, enquanto comem o fruto, as sementes carregadas na lama de seus pés e em suas fezes vão sendo espalhadas. A germinação destas sementes pode ser uma fonte importante para a diversidade de árvores em áreas de recuperação. A seleção de espécies deverá, também, ser orientada para auto-sustentação das espécies. As que são incapazes de reproduzir ou têm vida curta deverão ser usadas somente se forem previstas espécies para reposição ou se sabe que esta reposição vai ser ter êxito na seqüência do processo de sucessão natural.

Usam-se, em recuperação, duas técnicas básicas de cultivo: semeadura ou plantio de mudas. A escolha do método depende de fatores como a natureza da área a ser semeada, o tamanho e a capacidade germinativa das sementes, as características de propagação de espécies individuais, etc.

Uma vez que a área foi plantada, criando uma agradável paisagem, a

recuperação, freqüentemente, é considerada completa. Ainda que nesta fase a maior parte do trabalho tenha terminado, algumas medidas de manejo são necessárias para assegurar que os objetivos a longo prazo sejam atingidos.

Em muitas minas, o enriquecimento da diversidade de espécies é parte de recuperação. Após a revegetação com gramíneas e/ou árvores, um segundo plantio é planejado, onde a mistura e a diversidade de espécies deverão ser aumentadas e criada uma comunidade vegetativa mais permanente. (Bezerra 2005).

PLANEJAMENTO DE PAISAGENS COM AJUDA DE COMPUTADORES

Modelagem digital do terreno

Modelos digitalizados de terrenos de locais de mineração podem ser obtidos através de empresas especializadas contratadas ou programas comerciais específicos. Estes modelos podem gerar imagens tridimensionais de alta resolução da paisagem da mina e seu entorno facilitando a análise, simulação e interpretação das paisagens afetadas pela atividade de mineração.

Aplicações de computadores no projeto de paisagem

Um dos primeiros programas aplicativos sobre paisagismo, com aplicação de computadores, em minas, foi desenvolvido pela AMAX Coal Company nos Estados Unidos no início da década oitenta. O programa era bastante ambicioso e combinava planejamento de mina e paisagem. O programa foi usado na fase conceitual de estudos dos impactos ambientais sobre a paisagem e projeto de drenagem. Entretanto, os erros sistemáticos obtidos nos cálculos dos volumes acumulados limitou o uso do mesmo nas fases posteriores de detalhamento e planejamento.

A partir do início do ano 2000 têm sido propostos diversos aplicativos com o objetivo de simular a evolução da paisagem

com o avanço das operações nas minas a céu aberto. Com estes programas é possível simular diversos cenários prevendo-se os efeitos das diversas metodologias de lavra sobre a paisagem como um todo. Um exemplo desse tipo de programa é o programa ARGUS desenvolvido pela Australian Coal Industry Research Laboratories Limited (ACIRL) (EPA, 1998). Este programa tem a vantagem de ser projetado como um programa para a reformulação da paisagem e estar apto para manipular sistemas tridimensionais complexos, incluindo fórmulas para o cálculo exato de volumes. O programa gera também perfis de talude e sugere redes drenagem. Como acontece com a maioria dos programas de projeto, também o aplicativo ARGUS se baseia na modelagem digital do terreno sendo que seus dados de entrada são importados diretamente do projeto de mina através de programas específicos como o "MINDRAFT", "SURPAC" ou "VULCAN", ou mesmo no formato texto. Os dados são manipulados levando à criação de uma série de nós (ou pontos no espaço representado por coordenadas em três dimensões da superfície da paisagem). Quanto maior o número de nós criados maior será a confiabilidade e precisão da superfície simulada. Quanto mais próxima da realidade estiver a superfície recriada mais precisas serão as estimativas dos volumes e cortes a serem efetuados em cada simulação. Como em qualquer programa, haverá um aumento do tempo de processamento em função do aumento do número de dados de entrada, no caso, número de nós.

A topografia pode ser apresentada de várias formas. O modo mais comum de apresentação é na forma de *wireframe* ou rede de nós entrelaçados. Opcionalmente, a topografia pode ser apresentada na forma de um sólido, em perspectiva, sendo que este sólido poderá ser girado e observado segundo ângulos diversos (EPA, 1998).

CONCLUSÕES

O planejamento visando para a reconstituição dos terrenos e utilizando as melhoras práticas resultará em um

aprimoramento do uso da terra pós-mineração. A integração da paisagística de uma área afetada pela mineração inclui vários aspectos entre eles a drenagem dos terrenos, ângulos e comprimentos de talude adequados, tratamento da pilha de estéril e rejeitos, entre outros aspectos. O planejamento pode ser aprimorado através do uso de computadores e programas específicos, em conjunto com uma coleção dos dados mais relevantes e necessários do local. Talvez o aspecto mais significativo do uso da melhor prática pela indústria mineradora seja a possibilidade de trabalhar-se cada vez mais no sentido da busca do desenvolvimento sustentável na mineração.

Embora não fosse comum, até bem pouco tempo, a preocupação em se tomar medidas para minimizar impactos ambientais negativos, em mineração, e especificamente, em pedreiras de rochas ornamentais, pode-se perceber que; hoje em dia, diversas empresas, até por força da lei, em especial aqui no Brasil, já trabalham com sucesso no sentido de restabelecer, mesmo que em parte, as características iniciais encontradas antes dos trabalhos de exploração. Isto porque várias empresas estão apostando, cada vez mais, no planejamento das operações mineiras e na conciliação de suas operações com a reabilitação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Curi, A. Planejamento de Mina e Meio Ambiente. I Curso de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração, Escola de Minas da UFOP, Ouro Preto, MG, 2005. 102 págs.
- Jimeno, C.M.; Maqua, P.A.; Bombin, R.E.; Gomez, M.F.; Alonso, S.M.; Gonzalez, C.M.; Santos, J.T.; Carcedo, F.J.A.; Fernández, L.VI.- Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales, em minería, Inst. Tecn. Geom. de España, 2ª. Ed. 332 págs, 1989.

Lopes Jimeno, C.: “La Restauración de Canteras a Través de un Diseño más Racional”. II Jornadas sobre Restauración Del Espacio Natural Afectado por Explotaciones Mineras. Consejería de Industria. Gobierno Autónomo de Canarias. 1988.

Ozilea, Bezerra(2005). Geologia Ambiental – UFC, Avaliação da Recuperação de áreas mineradas degradadas no Brasil, disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/>. Acesso em junho/2005.

EPA - Environment Protection Agency, Rehabilitation and Revegetation, a module in a series on Best Practice Environment Management in Mining, Australian Federal Environment Department, Australia, 1995, 36 pg.

EPA - Environment Protection Agency, Landform Design and Rehabilitation, a module in a series on Best Practice Environment Management in Mining, Australian Federal Environment Department, Australia, 1998, 74 pg.

CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Júlio César de Souza

Eng° de Minas, Dr-Eng^a
Prof. Ajunto DEMINAS/UFPE
Coordenador PPGEMinas

INTRODUÇÃO

O que é cadeia produtiva?

Uma cadeia produtiva pode ser definida como um sistema constituído por agentes formadores de decisão envolvidos em um processo interdependente, por meio de um fluxo de produtos e serviços em uma direção. Pode envolver desde fornecedores de matéria prima, produção propriamente dita, distribuição e até consumidores finais. Todos os elementos ou níveis de uma cadeia executam funções importantes, cujos respectivos desempenhos determinam de forma interdependente o desempenho do sistema como um todo (Towill, Nam & Wilkner apud Figueiredo, Zambom, 1998).

O conceito de cadeia possui definições bastante amplas, possuindo como característica principal a sua linearidade e sucessão de etapas, e o enfoque em determinados produtos finais ou matérias

primas base. Com relação a estes aspectos faremos algumas considerações quanto as características da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais.

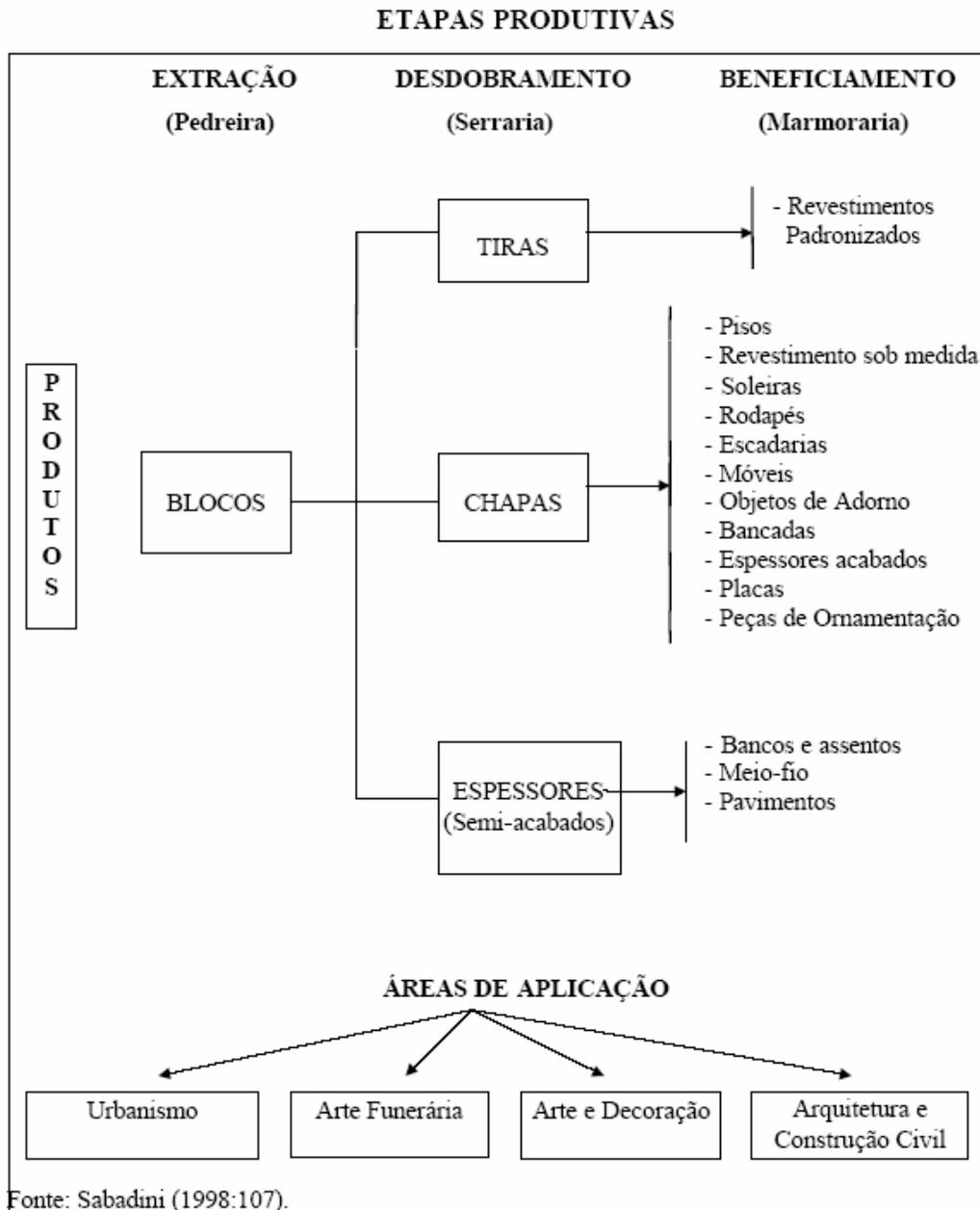
CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Características da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais.

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais compõe-se basicamente das etapas produtivas necessárias para transformação da matéria-prima litológica em produto final a ser utilizado por alguma área de aplicação.

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais pode ser caracterizado a partir da decomposição nas etapas produtivas necessárias à transformação dos blocos extraídos nas pedreiras em produtos finais como ilustra a figura 1.

Figura I- Decomposição da cadeia produtiva principal do setor de rochas ornamentais



Dessa forma têm-se os seguintes elos, compreendendo desde os trabalhos necessários a identificação de alvos geológicos potenciais para existência de rocha com características ornamentais até os processos finais de beneficiamento e obtenção de produtos comerciais:

1. Pesquisa do potencial ornamental de formações geológicas
2. Pesquisa de detalhe de alvos potenciais de jazidas de rochas ornamentais
3. Lavra de blocos comerciais
4. Desdobramento primário de blocos comerciais

5. Tratamento superficial de chapas em bruto
6. Beneficiamento final de chapas em marmorarias
7. Beneficiamento final de tiras em linhas automatizadas
8. Beneficiamento final de objetos de arte e decoração
9. Aplicação de rochas ornamentais na indústria da construção civil

Esse desdobramento mais detalhado da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais é ilustrado na figura 2.

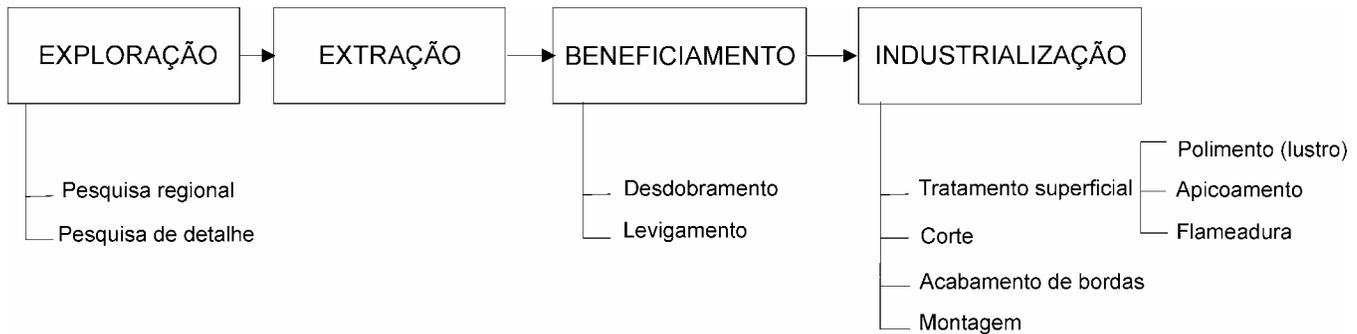


Figura 2 – Cadeia produtiva primária do setor de rochas ornamentais

A figura 3 mostra outros elementos relevantes da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais, indicando os tipos de

fornecedores de materiais, insumos e equipamentos necessários ao pleno funcionamento de cada etapa produtiva.

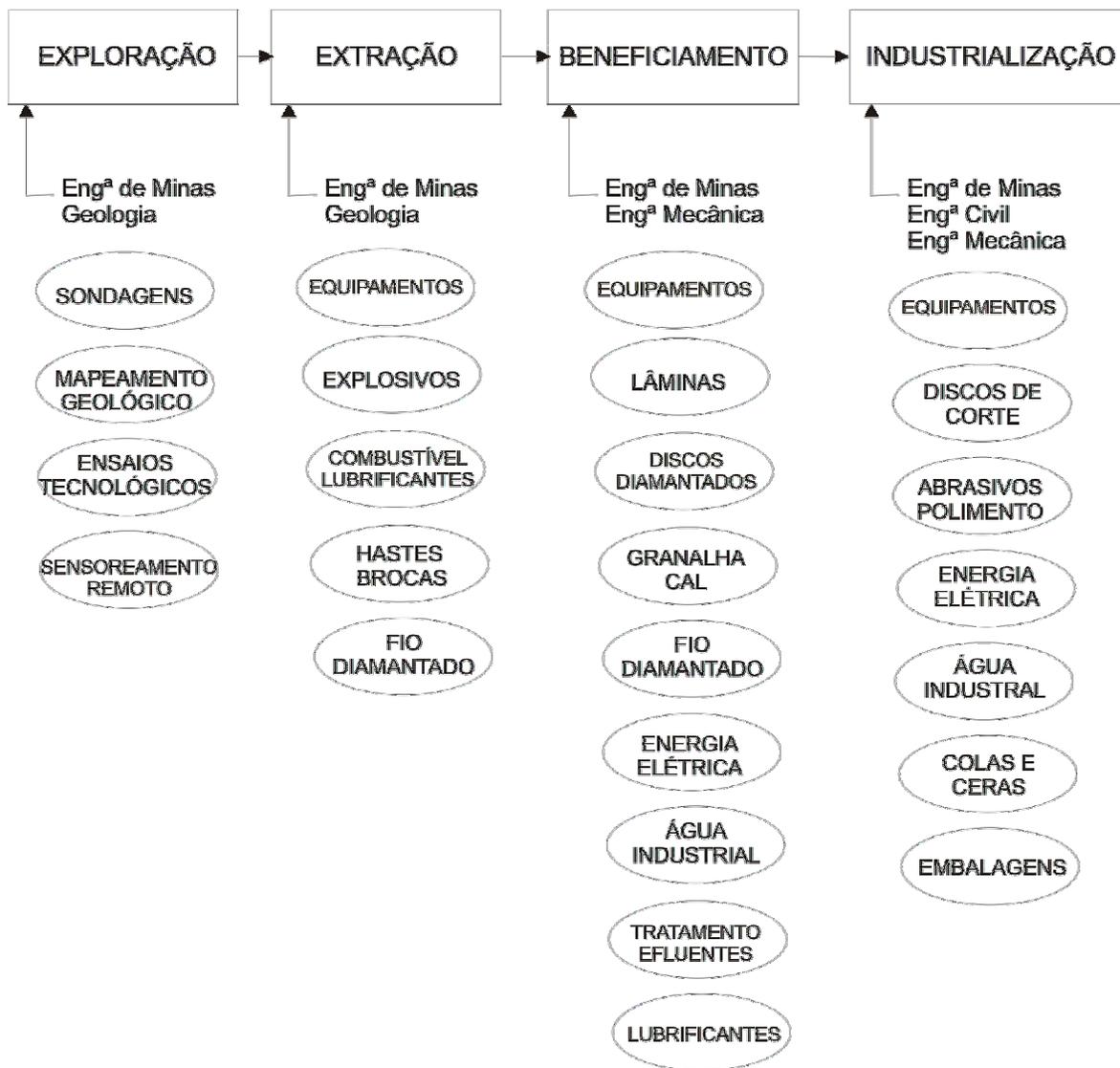


Figura 3 - Cadeia produtiva primária do setor de rochas ornamentais e principais insumos

Os agentes envolvidos na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais são representados basicamente pelas áreas da geologia, engenharia de minas, engenharia mecânica, engenharia civil, arquitetura e design. Os profissionais dessas áreas são os principais agentes do setor de produção de rochas ornamentais sendo responsáveis pelo apoio e operacionalização do setor em suas respectivas áreas de competência.

A geologia é a principal responsável pelos primeiros elos da cadeia produtiva, a saber: pesquisa regional e de detalhe de rochas ornamentais. A sua atuação é fundamental

para o descobrimento de novas ocorrências de materiais bem como pela correta caracterização das jazidas de rocha ornamental em termos estéticos, estruturais e geomecânicos.

A engenharia de minas se responsabiliza pelas atividades de pesquisa de detalhe (em conjunto com a geologia), exploração de pedreiras, desdobramento primário (em conjunto com a engenharia mecânica), desdobramento final (em conjunto com a engenharia civil e arquitetura) e aspectos ambientais ao longo do processo produtivo.

Já o campo da engenharia civil e arquitetura são os grandes consumidores do setor, indicando as formas de aplicação, tanto nos setores da construção civil, como no urbanismo e decoração, sendo responsáveis, portanto pela especificação dos produtos desejados e pela sua correta aplicação.

Principais elos da cadeia produtiva do setor

A pesquisa do potencial ornamental de formações geológicas tem por finalidade básica realizar a determinação de alvos potenciais para encontrar-se novas ocorrências de rochas ornamentais que deverão ser posteriormente estudadas através da pesquisa geológica de detalhe. O objetivo principal nessa etapa é a descoberta de novas ocorrências de material ornamental.

A pesquisa de detalhe de alvos potenciais de jazidas de rochas ornamentais é a continuação dos trabalhos executados na primeira etapa de pesquisa regional e visa o reconhecimento "in loco" dos alvos potenciais definidos na etapa anterior. O detalhamento nessa fase de pesquisa é necessário para ter-se uma perfeita caracterização da jazida em termos estéticos, estruturais e geomecânicos de forma a poder-se concluir pela viabilidade técnica e econômica de sua exploração. O objetivo final dessa etapa é portanto a de viabilizar a lavra da jazida, através do detalhamento geológico na área da pedreira.

A lavra de blocos comerciais ocorre em decorrência da viabilidade técnico-econômica demonstrada na etapa preliminar de pesquisa de detalhe e compõem-se de todas as operações e metodologias aplicadas para a produção de blocos comerciais de rocha ornamental. Nessa etapa são aplicadas tecnologias e metodologias de trabalho oriundas do campo da engenharia de minas e a finalidade é a obtenção de blocos comerciais para posterior beneficiamento primário e industrialização.

O beneficiamento primário de blocos comerciais, também conhecido como serragem

ou desdobramento, visa a obtenção de produtos intermediários, chapas, espessores e tiras, que serão posteriormente processados na etapa de industrialização para obtenção de produtos finais especificados para as aplicações desejadas.

O tratamento superficial das chapas em bruto corresponde a segunda etapa de beneficiamento e consiste nos processos de levigamento, lustro, apicoamento e flameadura. Todos esses processos visam a obtenção de uma determinada característica estética da superfície da rocha desdobrada, adequado à especificação e finalidade da aplicação final.

O beneficiamento final de chapas em marmorarias é a etapa final do processo de beneficiamento e compreende a industrialização do material obtido no desdobramento de blocos (chapas) afim de obter-se os produtos finais desejados. Os processos envolvidos constituem-se basicamente do corte das chapas, acabamento de bordas e montagem das peças finais de rocha ornamental.

O beneficiamento final de tiras em linhas automatizadas refere-se a obtenção de ladrilhos padronizados, de ampla utilização em pavimentação e revestimentos internos e externos, através do processamento de tiras em linhas automatizadas de produção em série e equipamentos automáticos de fabricação.

A obtenção de objetos de arte e decoração, entre os quais destacam-se a produção de estátuas, objetos de adorno, bijuterias e arte funerária, é um processo especial no setor de rochas ornamentais e executado, via de regra, através de técnicas manuais e artesanais, por artesãos altamente especializados e qualificados para tanto. Atualmente foram desenvolvidos equipamentos automáticos para fabricação de objetos especiais entre os quais destacam-se o tear mono-fio diamantado de 4 eixos, fresas automáticas com corte através de jato de água sob pressão e equipamentos de corte automático com auxílio de sistemas

CAD-CAM (Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing).

O último elo da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais refere-se aos processos, tecnologias e metodologias de aplicação de rochas ornamentais nas diversas áreas onde os mesmos são consumidos. Destaca-se nesse meio setor da construção civil responsável pela maior parte desse consumo principalmente nas aplicações em pavimentação interna e externa, revestimento de interiores e exteriores, decoração de ambientes internos e externos e urbanização de ambientes públicos e privados. Essa etapa é fundamental para a plena utilização do potencial ornamental dos mármore e granitos e demanda profundos conhecimentos técnicos das possibilidades construtivas e características tecnológicas dos materiais pétreos para um correto dimensionamento e especificação dos produtos a serem aplicados.

CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Geologia regional

Visa a descoberta de regiões com potencial para ocorrência de rochas ornamentais e informa o tipo e distribuição das rochas nessas regiões. Também informa a vocação dos terrenos para a ocorrência de materiais ornamentais comuns, clássicos ou excepcionais, a partir das informações geológicas disponíveis e as feições estéticas esperadas para os litotipos encontrados na área.

Nessa etapa é feita a distinção dos diferentes ambientes geológicos e a fixação de bases previsionais de ocorrência de diferentes tipos de rochas. Assim por exemplo, na procura de materiais de coloração azul deve-se definir alvos de pesquisa onde ocorram rochas com a presença de minerais como a sodalita (sienitos), dumortierita (quartzitos), cordierita (gnaisse) e quartzo azulado (vulcânicas e vulcânicas ácidas).

As principais técnicas aplicadas na pesquisa regional são relacionadas ao sensoriamento remoto: Análise morfo-estrutural em imagens de satélite e análise geomorfológica. Os resultados obtidos são os domínios litológicos aflorantes, áreas de rochas maciças e/ou isotrópicas, faixas estruturalmente preservadas, campos de matações, formas de relevo, paisagens geradas e áreas desnudadas (sem capeamento de solo).

Essa etapa tem um caráter essencialmente institucional e deveria ser uma atividade governamental visando o fomento da atividade na região. O objetivo a ser alcançado é a aferição do potencial geológico, a elaboração de cartas previsionais e informações sobre direitos minerários, infraestrutura e pólos produtores na área enfocada.

Geologia local (detalhe)

A pesquisa de detalhe tem como objetivo a quantificação dos materiais e a viabilização da lavra, sobretudo em maciços rochosos.

Os trabalhos executados nessa etapa de geologia incluem o reconhecimento local e amostragem das variedades litológicas aflorantes, caracterização petrográfica e tecnológica das rochas selecionadas, tipificação e caracterização comercial dos materiais, cálculo de reservas geológicas, definição dos métodos de lavra viáveis, execução de testes de serragem e polimento e realização de testes de mercado e marketing com avaliação do mercado possível para os produtos.

O início dos trabalhos de campo geralmente ocorre com o mapeamento local das litologias aflorantes em base planialtimétrica observando-se as feições estruturais, composicionais e fisiográficas. São também executados levantamentos geofísicos específicos, entre os quais destacam-se sísmica (fraturamento em profundidade), gravimetria (estruturas cársticas), magnetometria (geometria de diques em

profundidade) e métodos elétricos (presença de água e indiretamente de fraturas e cavernas).

A determinação preliminar de reservas pode ser realizada através de simulação de figuras geométricas (relevos alongados) ou através de seções geológicas transversais em bancadas hipotéticas (relevos abobadados). Do volume calculado subtrai-se pelo menos 20% referente ao capeamento e imperfeições do relevo e do restante subtrai-se 50% relativos a perdas na lavra.

Para definição das reservas medidas deve-se executar sondagens rasas (até 20 ou 30 metros) e com diâmetro suficiente para serem retiradas amostras para caracterização tecnológica do material, em furos horizontais e verticais. Com as sondagens pode-se verificar a continuidade da jazida, observar os aspectos estruturais e estéticos do material e elaborar placas de mostruário.

Os materiais considerados viáveis em termos de fechamento, brilho, espelhamento, padrão cromático e desenho são então submetidos a ensaios de caracterização tecnológica que visam qualificar as propriedades físicas e geomecânicas dos mesmos. Os principais ensaios executados são: mineralogia (análise petrográfica), parâmetros físicos (massa específica, absorção de água e porosidade), resistência à abrasão, resistência mecânica (tração,

compressão) e dilatação térmica linear. Complementarmente pode-se executar os ensaios de impacto de corpo duro, alterabilidade química, resistência mecânica associada ao congelamento/degelo e determinação do módulo de elasticidade estático.

Os testes de serragem e polimento são realizados sobre os materiais com bom potencial em termos de reservas, qualidade estéticas e propriedades tecnológicas, sendo realizados através do desdobramento de blocos obtidos em lavra piloto em equipamentos industriais tais como teares multilâminas a granalha e politrizes padrão.

Lavra de pedreiras

A lavra de pedreiras de rocha ornamental se refere aos procedimentos técnicos e metodologias de trabalho empregadas nas pedreiras com o objetivo de retirar-se blocos comerciais de rocha ornamental das jazidas.

A lavra de rochas ornamentais é realizada em 2 tipologias básicas de jazidas: a céu aberto e subterrânea, sendo que a lavra a céu aberto envolve outras 3 tipologias de exploração. Na figura 4 se podem visualizar as tipologias de lavra das jazidas de rochas ornamentais.

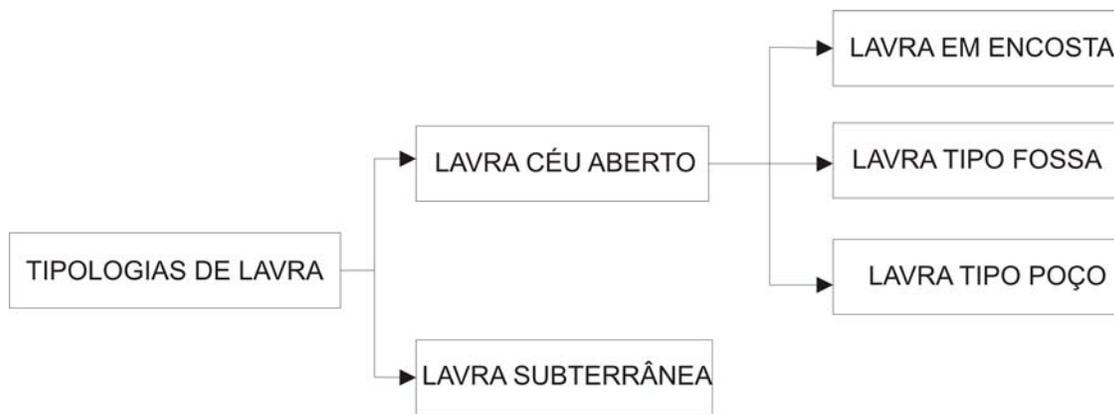


Figura 4 – Tipologias de exploração de jazidas de rocha ornamental

As metodologias de lavra empregadas na exploração de pedreiras são função da tipologia do jazimento e podem ser agrupadas em 3 métodos de lavra básicos: lavra através de bancadas altas, lavra através de bancadas baixas, lavra por desmoronamento e lavra de matacões. Todas essas metodologias aplicadas para pedreiras a céu aberto. A lavra subterrânea pode ser aplicada utilizando o método de lavra por câmaras e pilares.

Dentro dessas metodologias de lavra utilizam-se diversas tecnologias para proceder ao corte das rochas e obtenção dois blocos

comerciais sendo as principais aquelas que se utilizam de perfuração roto-percussiva a diamante, explosivos de baixa potencia, argamassa expansiva, fio diamantado, jato de água sob pressão e corte com ferramentas mecânicas. Para tanto são empregados diversos equipamentos que podem ser agrupados em tecnologias tradicionais e modernas ou através dos princípios de operação contínua ou cíclica. A figura 5 mostra uma classificação dos métodos de lavra e tecnologias de corte aplicáveis na lavra de rochas ornamentais.

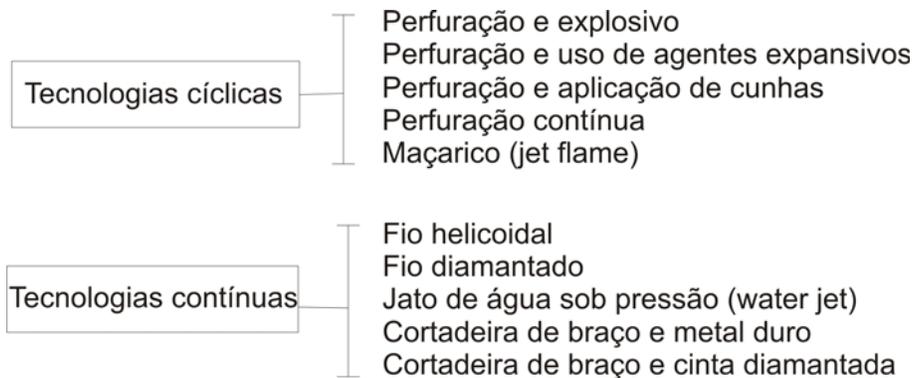


Figura 5 – Classificação das tecnologias de corte de rochas ornamentais

Também é importante nessa etapa da cadeia produtiva ter-se um eficiente método de transporte e carregamento dos blocos, visando sempre o menor custo possível na

movimentação dos blocos até seu destino final. Os equipamentos disponíveis para o transporte e carregamento de blocos são sumarizados na figura 6.

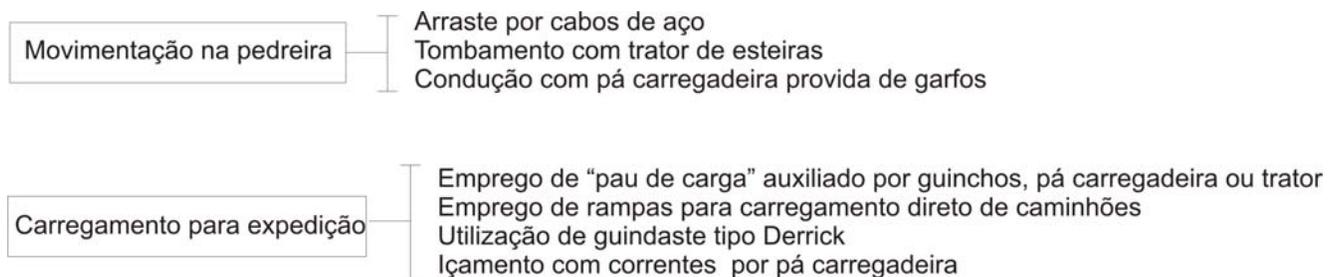


Figura 6 – Equipamentos de carregamento e movimentação de blocos

Desdobramento de blocos

O beneficiamento primário, também chamado de serragem ou desdobramento, constitui-se no corte de blocos e é a primeira

etapa do processo de beneficiamento de rochas ornamentais. Nessa etapa os blocos são cortados em chapas, tiras ou espessores, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais.

Essa é uma etapa essencialmente industrial e envolve a aplicação de uma série de equipamentos entre os quais destacam-se os teares, os talha-blocos de disco diamantado e as máquinas de corte com fio diamantado. Existem três métodos ou tecnologias para o beneficiamento primário: corte com tear de lâminas, corte com talha blocos de discos diamantados e corte com fio diamantado. Cada uma dessas modalidades apresenta grande variedade de equipamentos, seguindo diversos princípios de funcionamento e variações construtivas que os identificam individualmente. A aplicação de um tipo ou outro de equipamento é função principalmente do tipo de produto intermediário que se deseja obter: chapa, espessor ou tira.

Beneficiamento final (convencional – automatizado)

Como beneficiamento final consideram-se todas as tecnologias e processos que conferem as características dimensionais, de conformação e especificação do produto final. Assim estão reunidas neste estágio do ciclo de fabricação dos produtos de rochas ornamentais os processos de corte, que lhes conferem as dimensões, formatos e desenhos, os acabamentos de borda e outros especiais.

O corte e os acabamentos de borda são etapas do processo produtivo que atuam essencialmente na modificação da forma e nas dimensões dos diversos produtos para atender às especificações de aplicação desses materiais nos seus mais diversos campos.

PRODUTOS OBTIDOS NA CADEIA PRODUTIVA

Na etapa de pesquisa regional são obtidos como produtos as indicações de alvos geológicos potenciais de ocorrência de rochas ornamentais. O principal meio de divulgação é o Mapa Geológico de Atratividade Regional, onde são indicados os tipos geológicos potenciais para encontrar-se jazidas de rocha ornamental. As principais ferramentas utilizadas nessa etapa são o mapeamento

geológico regional, análise de imagens de satélite e levantamentos fotográficos aéreos.

Na fase de execução dos trabalhos geológicos de detalhe nos locais de ocorrência de rochas com potencial ornamental, o produto gerado é a caracterização geológica das condições estruturais, estéticas e geomecânicas da jazida bem como a caracterização tecnológica completa do material ornamental pesquisado. Com os estudos realizados nessa etapa deve-se ter subsídios técnicos e econômicos suficientes para decidir-se pela viabilidade de implantação da pedreira e elaboração do Projeto de Lavra da jazida. Como ferramentas aplicadas nessa etapa da cadeia produtiva temos os levantamentos geológicos locais, estudo de afloramentos, levantamentos topográficos plani-altimétricos, execução de sondagens em sub-superfície, abertura de trincheiras, amostragem e execução de ensaios de caracterização tecnológica, abertura de frentes de lavra experimental, testes de mercado e desenvolvimento do Relatório Final de Pesquisa e do Plano de Aproveitamento Econômico da jazida.

Na fase de lavra das pedreiras são aplicadas as tecnologias de corte de rochas coesas com a finalidade de obtenção de blocos com padrão comercial e sem defeitos estéticos ou estruturais graves. O produto final desejado é um bloco em bruto, sem defeitos cromáticos, com padrão estético-textural constante e esquadrejado dentro de um padrão geométrico pré-definido. As tecnologias de corte são de diversas modalidades e destacam-se o uso de perfuração contínua, perfuração e uso de explosivos, perfuração e uso de argamassa expansiva, perfuração e uso de cunhas, fio helicoidal, fio diamantado, flame jet (maçarico), water jet (corte com água) e cortadeira de braço mecânico. Entre as metodologias de lavra aplicadas em pedreiras de rocha ornamental destacam-se os métodos de lavra a céu aberto (bancadas altas, bancadas baixas e lavra de matacões) e subterrânea (câmaras e pilares).

A etapa seguinte de processamento compreende o beneficiamento primário onde

os blocos em bruto são desdobrados obtendo-se três tipos de produtos intermediários: chapas, espessores e tiras. A obtenção desses produtos é realizada através de três tecnologias de processamento: corte em teares de lâminas, corte com discos diamantados e corte com fio diamantado. A aplicação dessas tecnologias e respectivos equipamentos depende basicamente do tipo de produto intermediário desejado e da análise da relação custo/benefício. Os produtos obtidos nessa etapa são as chapas em bruto para posterior beneficiamento em processos de marmoraria, tiras em bruto para aplicação na fabricação de ladrilhos padronizados e espessores em bruto para aplicações especiais e utilização em arte funerária.

Após a etapa de desdobramento primário os produtos em bruto são submetidos a uma etapa de tratamento superficial visando à obtenção de produtos com a superfície apresentando um padrão estético pré-determinado. Nessa fase estão disponíveis três técnicas de processamento: o polimento utilizando seqüências pré-determinadas de material abrasivo tendo-se como produto final ou uma superfície levigada (maior rugosidade) ou lustrada (alto grau de polimento com espelhamento da superfície); o apicoamento com ferramentas mecânicas obtendo-se superfícies com variados graus de rugosidade; e o flameamento onde, através da aplicação de uma chama térmica e água, obtém-se uma superfície com elevado grau de rugosidade.

A etapa de industrialização dos materiais ornamentais ou beneficiamento final ocorre normalmente em locais denominados marmorarias. O processamento nas marmorarias envolve três etapas básicas: o corte das chapas de material ornamental nas dimensões definidas nos projetos específicos, o acabamento de bordas englobando a configuração e polimento das bordas, e a montagem dos produtos finais, que envolve em geral a colagem das peças e aplicações de acessórios como cubas metálicas por exemplo. Também é comum o uso de equipamentos automatizados que contemplam o uso de tecnologias tipo CAD-CAM para realização das

operações de corte e acabamento de bordas nessa etapa. Os produtos obtidos são as mais variadas peças para aplicação na construção civil e decoração de ambientes internos e externos. Outro tipo de indústria característica na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais na etapa de beneficiamento final é a fabricação de ladrilhos padronizados em linhas automáticas de produção. Essas linhas são alimentadas pelas tiras obtidas na etapa de desdobramento de blocos em talha blocos multidiscos e após processamento oferecem ladrilhos em tamanhos padronizados e com calibração de espessura para aplicação em pavimentação e revestimento de paredes. Outros tipos de processamento envolvem diversos tipos de oficinas artesanais de produção de objetos de artesanato mineral, objetos de arte e decoração e fabricação de produtos para utilização em arte funerária para ornamentação de túmulos e mausoléus.

CONCLUSÃO

Para uma perfeita performance da cadeia produtiva do setor é fundamental que em cada etapa de produção se tenha um rigoroso controle de qualidade dos produtos intermediários e finais obtidos nos processos produtivos, desde a etapa de pesquisa geológica, extração de blocos, desdobramento das chapas e industrialização. Todos esses processos são importantes e fundamentais para a obtenção de produtos finais de qualidade e preço competitivo.

Os aspectos ambientais também são fundamentais para uma boa performance do setor e envolvem todos os aspectos relacionados com o controle ambiental nas pedreiras, serrarias e marmorarias. Também é de fundamental importância a aplicação de metodologias e tecnologias para aproveitamento dos resíduos gerados no processo, em particular dos resíduos da lavra, efluentes do desdobramento de blocos e sobras de marmoraria.

A determinação de custos de produção também é uma parte importante na cadeia

produtiva, pois é a partir de um controle eficiente dos custos e desperdícios que se consegue obter produtos finais em condições de competitividade com outros materiais similares, em especial com a cerâmica de revestimento.

Outro aspecto fundamental do setor são os estudos de mercado, que visam à viabilização de novos materiais no mercado consumidor, etapa essa que pode durar anos até sua complementação. Os estudos de mercado tem relação direta com a viabilidade econômica da introdução de novos materiais no mercado, pois é somente com o surgimento de interesse por parte dos consumidores é que se pode implantar uma pedreira de um novo material.

As rochas ornamentais tem uma aplicabilidade imensa e extremamente diversificada, tendo sido utilizada há milênios pelo homem nas mais diversas formas. As principais aplicações se referem aos materiais destinados à indústria da construção civil e compõem-se de produtos para revestimento, ornamentação, decoração e aplicações estruturais. Além desse importante mercado tem-se também consumidores nas áreas de artesanato, bijuterias, arte sacra, arte funerária, estátuas, monumentos públicos, urbanização, indústria mecânica, etc.

O aproveitamento de resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva de rochas ornamentais é um desafio que está sendo constantemente enfrentado pelos agentes do setor. Dessa forma existem diversos trabalhos científicos e aplicações experimentais nas empresas visando o reaproveitamento dessas sobras. Como exemplo tem-se a produção de brita e concentrados quartzo-feldspáticos a partir dos rejeitos de pedreiras; a utilização da lama abrasiva descartada nos teares de lâminas para fabricação de tijolos, blocos pré-moldados, corretivo de solos e obtenção de concentrados de ferro e minerais cominuídos. Por fim as sobras de marmorarias tem tido uma destinação cada vez mais nobre através de sua utilização como matéria-prima para confecção de objetos de artesanato mineral e bijuterias.

A otimização da cadeia produtiva deve ser um processo constante e articulado entre os agentes do setor, atuando desde a etapa de pesquisa geológica regional até a aplicação do produto final nas diversas áreas de consumo. É necessário que cada etapa procure a máxima eficiência de seu processo afim de que a qualidade final seja assegurada, dentro de um preço de venda competitivo e atraente para o consumidor final.

Também consideramos de fundamental importância para a cadeia produtiva do setor todos os cuidados que devem ser tomados na especificação de rochas ornamentais, levando-se em conta o tipo de aplicação para o produto e suas características naturais. Assim é importantíssimo que o especificador do material tenha conhecimento dos esforços e agressões a que o material estará sujeito, bem como da capacidade de resistência do material a essas solicitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Figueiredo, R. S., Zambom, A. C. - A empresa vista como um elo da cadeia de produção e distribuição. Revista de Administração. São Paulo, v.33., n.3, pg 30, (1998).
- Batalha, M. O. & Lago Da Silva, A. Gestão de Cadeias Produtivas: Novos Aportes Teóricos e Empíricos, 1999.

ESTUDO DA ALTERABILIDADE DE ROCHAS ORNAMENTAIS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO POR ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Maria de Fátima Bessa Torquato*
Joaquim Raul Ferreira Torquato**

* Geóloga, Doutora. Eng^a Minas. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC. Divisão de Materiais. e-mail: fbessa@nutec.ce.gov.br.

** Geólogo, Doutor Professor Titular aposentado do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. e-mail: torquato@secrel.com.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentadas as diversas e mais usuais metodologias existentes no que tange ao estudo de Rochas Ornamentais sob o ponto de vista do uso de câmaras de envelhecimento acelerado.

Inicialmente apresenta-se uma pequena descrição metodológica e sua abrangência sobre o significado dos termos mais comuns que se encontram diretamente envolvidos com o problema: *Alteração, Alterabilidade e Durabilidade*.

A discussão sobre esse tema demonstra que a *alterabilidade* e *durabilidade* são processos intimamente associados e que se relacionam de maneira inversa. Assim, procura-se sempre focar os ensaios tendo como padrão não só o que se vai processar na estrutura física e cristalina dos minerais afetados, mas também no que isso significa para a manutenção das características tecnológicas dos materiais ensaiados.

Conclui-se o trabalho apresentando uma coletânea das diversas metodologias mais usuais para se aquilatar o comportamento de cada material face aos agentes agressivos naturais. São descritos os principais tipos de câmaras de envelhecimento acelerado, seu funcionamento e uso, bem como as normas que as regem.

INTRODUÇÃO

O estudo da alterabilidade de Rochas Ornamentais é um tema extremamente complexo devido ao grande número de variáveis físicas e químicas que envolve. Por exemplo, uma mesma rocha aplicada em dois locais, com condições ambientais diferentes (biológicas, físicas, químicas ou até mesmo antrópicas) pode apresentar ao fim de um certo tempo índices de alterabilidade completamente diferentes. Assim, nenhum laboratório poderá fazer um estudo minucioso das possibilidades de alterabilidade de uma rocha sem primeiro saber exatamente onde e como ela vai ser aplicada ou a que tipo de uso ela vai ser submetida. Com este texto vamos procurar analisar as metodologias mais comuns ao estudo do tema realçando porém, desde já, que, na maioria dos casos, aparecem sempre fatores endógenos ou exógenos, complicantes que vão afetar de modo marcante os resultados obtidos em laboratório.

Pode-se, deste modo, perguntar até que ponto é válida ou não a execução de testes e estudos laboratoriais mais complicados tendo em vista a caracterização dos parâmetros referentes ao estudo de alterabilidade de uma Rocha Ornamental. É claro que, sob o ponto de vista de engenharia civil, a quantificação dos parâmetros inerentes às possibilidades de futuras alterações (alterabilidade) de uma rocha são sempre fatores que devem ser levados em consideração. Os elevados custos

de aquisição dos insumos e aplicações cada vez mais sofisticadas de revestimentos tornam necessário o conhecimento, mesmo que sujeito a futuras modificações, do modo como o material vai reagir quando aplicado em determinado local.

TERMINOLOGIA

No estudo de Rochas Ornamentais existem três conceitos sobre o estado físico presente e futuro de uma rocha que, muitas vezes levam a confusões no uso e interpretação de dados relativamente a cada um deles. São eles:

- Alteração
- Alterabilidade
- Durabilidade

Entende-se por “**Alteração**” um conjunto de fatores que determinam o estado de conservação de uma rocha. Se a rocha não apresentar sinais de modificações minerais por processos estranhos à sua origem ela pode ser considerada como sendo sã, caso contrário diz-se que ela é alterada. Para Aires-Barros (2001) a alteração de uma rocha não é mais que a sua desagregação e decomposição produzidas pela ação dos agentes físicos e químicos que transformam essa rocha noutro produto natural em equilíbrio físico-químico com o meio onde se encontra atualmente. É o caso de, numa pedreira, termos rocha sã em profundidade e rocha alterada superficialmente. Em ambos os casos os dois materiais representam uma determinada condição termodinâmica estável. Por exemplo, a presença de minerais opacos, por vezes, tão temida por quem trabalha na execução de projetos com a utilização de Rochas Ornamentais, pode não representar nenhum tipo de perigo para o desenvolvimento de uma futura patologia se os mesmos tiverem sido formados durante o caminho para as novas condições ambientais.

Alterabilidade de uma rocha é um conceito dinâmico que representa a capacidade que ela mostra para se alterar em função do tempo quando já aplicada em edifícios ou monumentos. Em princípio todas as rochas apresentam uma capacidade de 100% para sofrerem qualquer tipo de modificação na sua estrutura química ou mineralógica de modo a se adaptarem às condições termodinâmicas locais. No entanto, a velocidade com que isso acontece é um dos fatores que poderá afetar as condições estéticas e de segurança de uma determinada obra de engenharia.

Alteração e alterabilidade levam a um mesmo estado final: a degradação de uma rocha como resultado da sua adaptação às novas condições termodinâmicas locais. A grande diferença, no entanto, entre os dois processos é que o primeiro se desenvolve ao longo da história da rocha, portanto durante um tempo geológico e o segundo processa-se sempre ao longo da “vida” do edifício ou monumento, logo durante um “tempo humano”.

Por “**Durabilidade**” de uma Rocha Ornamental entende-se a aptidão ou capacidade que ela tem para resistir à ação agressiva dos agentes de alteração quando assentada dentro dos padrões técnicos adequados.

Conhecer-se a durabilidade de um material rochoso é tarefa bastante difícil uma vez que, normalmente, esse estudo envolve uma grande quantidade de fatores intrínsecos e extrínsecos inerentes ao processo.

A American Association for Testing and Materials (ASTM, 2001), ao tratar do assunto, define “durabilidade” como a determinação da capacidade que uma Rocha Ornamental apresenta para manter as suas características essenciais de estabilidade, resistência ao intemperismo e aparência.

A durabilidade, tal como a alterabilidade, é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter as suas características estéticas quando em uso. Este tempo dependerá fundamentalmente do meio ambiente (clima, poluições atmosféricas, etc.) e da composição e uso das rochas em questão (ambientes interiores, pisos, fachadas, etc.).

A durabilidade depende assim, em última análise, da alterabilidade. Uma é o inverso da outra. Quanto mais resistente for uma rocha aos processos de alterabilidade maior será o seu tempo de vida útil. E o inverso é igualmente verdadeiro.

Enquanto a “Alterabilidade” nos mostra quais os minerais e até mesmo a ordem como se vão alterar dentro de determinada rocha, a “Durabilidade” procura fazer comparações entre vários tipos de rocha e avaliar como os seus minerais vão resistir ao meio ambiente de modo a permitir escolher a que melhor se adapta às condições locais para que se possa obter uma durabilidade maior sem haver perda das suas características estéticas.

ENSAIOS DE ALTERABILIDADE

Atendendo ao anteriormente exposto, vamos seguidamente fazer uma descrição sucinta das principais técnicas de análise aplicadas à determinação dos processos de alterabilidade/durabilidade.

A maioria dos ensaios de alterabilidade/durabilidade que vamos descrever a seguir, embora aqui esteja

enfocada ao estudo de Rochas Ornamentais, pode ser usada em muitos outros materiais também aplicados em construção civil tais como em azulejos, telhas e tijolos.

O principal objetivo de um ensaio do tipo “alterabilidade/durabilidade” é avaliar a capacidade que uma determinada rocha apresenta para poder ser usada com determinada função estrutural ou simplesmente decorativa durante o máximo de tempo possível sem que ocorram modificações importantes nas suas características físicas, mecânicas e estéticas.

Dependendo do uso da rocha no local a ser estudado podemos obrigatoriamente ter que optar por um dos dois grandes grupos de metodologias existentes:

- Métodos de análise não destrutivos
- Métodos de análise destrutivos

Se tivermos que fazer o estudo de uma rocha que ainda irá ser aplicada em determinada construção é evidente que o método a escolher poderá ser qualquer um dos indicados acima, no entanto, pelo contrário, se o estudo se destinar, por exemplo, à recuperação de um monumento, só deveremos usar metodologias não destrutivas.

Para Aires-Barros, (2002) os principais métodos não destrutivos são:

- Exames macroscópicos
- Análises fotográficas
- Análise de imagem
- Fotogrametria
- Termografia e termovisão
- Determinações ultra-sônicas.

Além destes, no estudo da alterabilidade/durabilidade de rochas podemos ainda usar outros métodos igualmente úteis tais como:

- Perfilometria de linhas

- Análise do brilho
- GPR

Os métodos destrutivos mais importantes são:

- Exames com lupa binocular e microscópio petrográfico
- Espectroscopia dos raios infravermelhos
- Difractometria de Raios X
- Espectrometria de fluorescência de Raios X
- Espectrofotometria de absorção atômica
- Microscopia eletrônica de varredura
- Análise por microsonda eletrônica
- Espectrometria de massa por ionização secundária
- Análise de massa por microsonda laser
- Cromatografia iônica

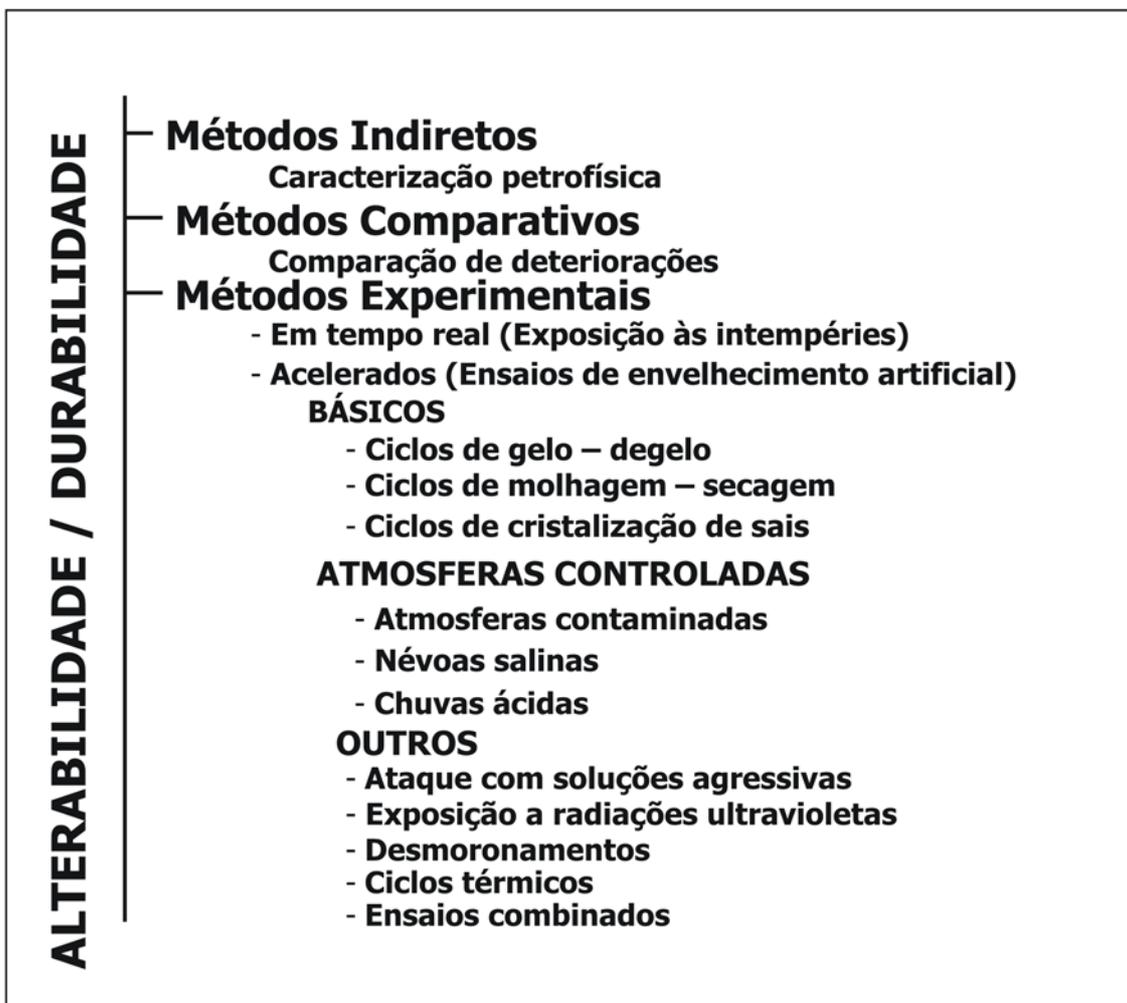
Laboratorialmente, todas as metodologias usadas, sejam elas destrutivas ou não, podem ser englobadas em 3 grandes grupos:

- Grupo dos métodos indiretos
- Grupo dos métodos comparativos
- Grupo dos métodos experimentais

Em todos estes três grupos se podem enquadrar os ensaios tecnológicos, tema do presente trabalho (Quadro I).

No caso dos “*Métodos Indiretos*” normalmente deve levar-se em consideração a dedução da alterabilidade/durabilidade de uma rocha em função das suas características petrofísicas conjugadas aos fatores ambientais que sobre ela vão atuar (por exemplo, a composição, textura, sistema poroso e o clima da região onde a edificação será construída).

Com os “*Métodos Comparativos*” procura-se deduzir o comportamento de um determinado material pétreo a partir do conhecimento histórico já descrito em outros locais e das características tecnológicas para materiais parecidos, ou até mesmo iguais, em condições semelhantes. Os diferentes níveis de degradação observados nas rochas de um edifício ou monumento expostos aos agentes de meteorização, ao longo de anos e em ambientes distintos, constituem um bom indicador da alterabilidade/durabilidade real de tais materiais quando comparadas com outros idênticos ou similares.



Quadro I – Representação esquemática dos vários tipos possíveis de ensaios tecnológicos referentes ao estudo da alterabilidade/durabilidade de uma rocha.

No caso dos “*Métodos Experimentais*” a maioria das situações permite levar em consideração outros fatores necessários ao estudo do comportamento do material. Devido à dificuldade de se reproduzir em laboratório às condições idênticas aquelas onde as rochas serão expostas depois de assentadas, o melhor e mais confiável modelo de estudo ainda é aquele denominado “*Em Tempo Real*”. Essa é a prova de exposição às intempéries onde o material é colocado

no mesmo local (ou num outro muito parecido) onde será instalado definitivamente. O único, mas muito grande problema que surge, neste caso, é que esta técnica exige a observação, com registro minucioso dos dados, sobre o que se passa com a rocha ao longo de meses ou até mesmo anos tornado assim, praticamente impossível o seu uso para estudos que exijam uma resposta rápida. Por esta razão procura-se sujeitar a rocha a ensaios laboratoriais

onde as amostras são submetidas, num curto espaço de tempo, a ação de um ou vários agentes de alteração devidamente magnificados e conhecidos como “**ensaios de envelhecimento artificial acelerado**”.

Com este tipo de ensaio é possível estabelecer, em alguns casos, “índices” de qualidade ou de durabilidade dos materiais em estudo, comparar o comportamento de rochas onde determinado tratamento foi aplicado com aquelas sem nenhum tipo de tratamento, comparar ainda as formas e mecanismos de meteorização de uma rocha no campo e no laboratório e, finalmente, fazer uma previsão do comportamento da rocha quando aplicada sob determinadas condições físicas e ambientais.

Estes ensaios, de acordo com o equipamento usado em laboratório, ainda podem ser divididos em três grupos conforme o indicado na Quadro 1: **ensaios básicos**, **ensaios com atmosferas controladas** e **outros** que representam aqueles que não se enquadram dentro destes dois primeiros grupos.

Nos **ensaios básicos** vamos procurar repetir várias vezes determinado processo, normalmente semelhante às condições naturais onde a influencia atmosférica é notória, de maneira que se possa acompanhar a evolução do estado de alteração de uma rocha. Destacam-se nesta categoria os ensaios descritos a seguir.

Ciclos de Gelo-Degelo que simulam os efeitos do gelo sobre as pedras devido, principalmente, ao incremento do volume da água, quando congelada, no interior do sistema poroso provocando fissuramento e desagregações (Figura 1). Esse ensaio já se encontra devidamente normatizado pela ABNT NBR 12769 e segundo Esbert et al. (1997) pela ASTM C (67, 290, 291), DIN 52104, UNE (22174, 22184, 22193, 7062, 7162), e Rilem, 1980.

Os efeitos provocados pela ação do congelamento da água sobre as rochas estão relacionados à capacidade de absorção das mesmas.

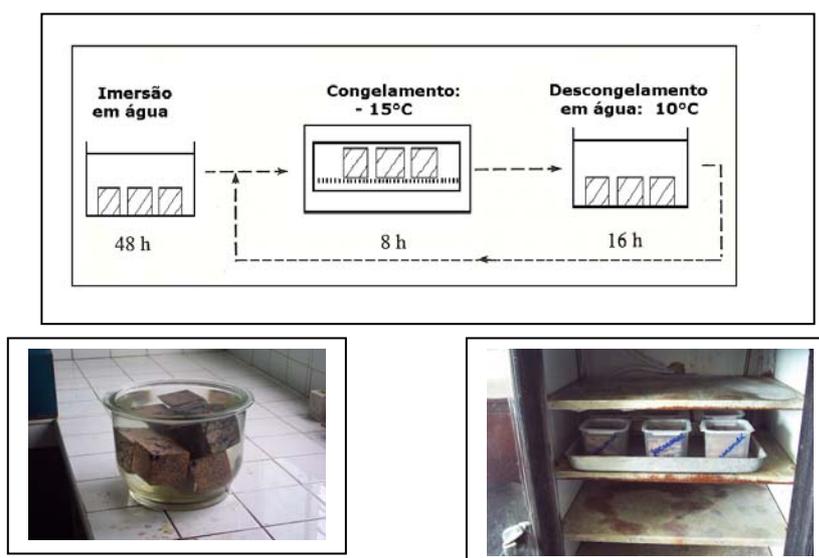


Figura 1 – Diagrama esquemático do ensaio de gelo-degelo com fotografias das fases de imersão em água e uso do congelador. Fonte: Esbert et al. (1997). Modificado.

Ciclos de Secagem-Molhagem que estudam a simulação dos efeitos conseqüentes da água sobre os edifícios. (inverno / verão). Este é um procedimento experimental que não está normatizado (Esbert et al. 1997), cujo ensaio é desenvolvido como mostra o esquema da Figura 2. Os danos observados são atribuídos à

ação desagregadora e dissolvente da água. Porém, de uma maneira geral, as rochas cristalinas mostram-se bastante resistentes à ação deste solvente, enquanto que os calcários e arenitos, principalmente, com mais de 10 % de argila são mais afetados.

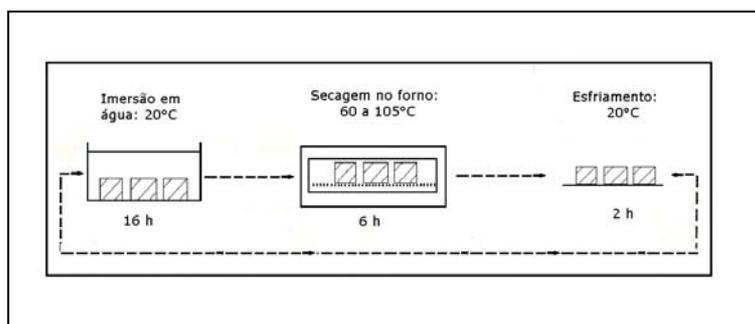


Figura 2 – Diagrama esquemático do ensaio de secagem-molhagem. Fonte: Esbert, et al. (1997). Modificado.

Ciclos de cristalização de sais que avaliam os efeitos dos sais solúveis que estão normalmente contidos na água. Os danos causados às pedras, neste caso, são decorrentes do aumento de volume destes sais quando se cristalizam ou passam do

estado anidro a hidratado no interior dos poros (Figura 3). Este é um dos ensaios mais agressivos nesta categoria e já estar amplamente normatizado pela ASTM (C88, C 212), DIN 52111, UNE 7.136; EN 12370 (WI 246034), Esbert et al. (1997).

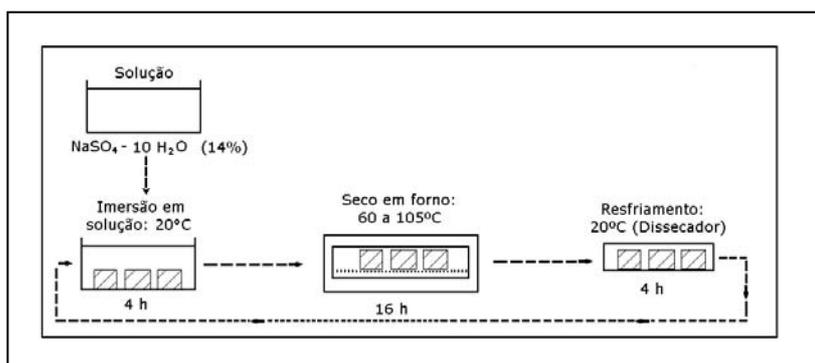


Figura 3 – Diagrama esquemático do ensaio de cristalização de sais. Fonte: Esbert et al. (1997) modificado.

Nos ensaios de **Atmosferas Controladas** procuramos criar artificialmente determinado tipo de atmosfera que acreditamos ser parecida com aquela onde o material vai ficar exposto após a sua aplicação.

Também neste caso existem três modalidades distintas principais:

A primeira, conhecida por "**Atmosferas contaminadas**" poderia, num sentido mais lato, enquadrar as outras duas uma vez que, quer a

segunda, conhecida por “**Névoas salinas**” ou a terceira e denominada de “**Chuvas ácidas**” representam sempre, em última análise, uma atmosfera contaminada por algo que pode ser um sal ou um ácido, mas que se trata sempre de uma contaminação.

No entanto, com os ensaios em **Atmosferas contaminadas** procura-se estudar o efeito de determinados gases contaminantes, não normais em atmosferas limpas, sobre os materiais pétreos mas, presentes em algumas

regiões urbanas e industriais sujeitas a fortes efeitos antrópicos. A contaminação mais normalmente simulada, por ser uma das mais comuns nos grandes centros urbanos, é a de **Dióxido de enxofre em atmosfera saturada com vapor de água** (Figura 4). Outros gases também podem ser utilizados como óxido de nitrogênio, dióxido de carbono ou até mesmo, quando os sistemas das câmaras de envelhecimento acelerado o permitem, combinações de vários gases.



(a)

(b)

Figura 4 -Vista geral de uma câmara de envelhecimento artificial (FOTOCLIMA 300 EDTU) em presença do dióxido de carbono, em uso no Instituto Superior Técnico de Lisboa. (a) fechada e (b) aberta.

Durante o ensaio a câmara é programada para manter as seguintes condições (EN 13 919 Wi 246033):

- 6 horas à temperatura de $60 \pm 5^\circ \text{C}$ e umidade de $30 \pm 5\%$;
- 6 horas à temperatura de $25 \pm 5^\circ \text{C}$ e umidade de $95 \pm 5\%$.

A norma recomenda 100 ciclos para o ensaio, mas especifica que a quantidade pode ser definida pelo pesquisador, e indica também que o acompanhamento do ensaio deve ser feito a cada 20 ciclos, além da pesagem das amostras no início, meio e fim do ensaio. Os resultados finais

devem ser expressos sob a forma da % de perda (Δ_p) calculada pela seguinte equação:

$$\Delta_p = \frac{M_n - M_o}{M_o} \times 100$$

onde: M_n é o peso da amostra no fim do ensaio e M_o é o peso inicial da amostra.

As câmaras utilizadas para a verificação do efeito da **Névoa Salina** procuram estudar, por exemplo, os danos causados pelos aerossóis marinhos sobre as placas pétreas

aplicadas em obras situadas em regiões costeiras. O ensaio avalia, portanto, qual a resistência relativa desses materiais ao envelhecimento induzido por misturas salinas.

Existem alguns tipos de câmaras que permitem fazer o estudo dos efeitos de atmosferas contínuas e/ou cíclicas de determinadas misturas salinas sobre o material colocado no seu interior (Figuras 5 e 6). Esses equipamentos são normalmente utilizados para estudos de corrosão dos materiais podendo, portanto, serem usados para a verificação dos efeitos corrosivos do sal sobre os materiais rochosos. Especificamente para os materiais rochosos já existe um projeto de norma europeia (prEN 14147) que está em fase de aprovação (WI 246032) o qual faz as recomendações descritas a seguir.

As amostras deverão ser colocadas numa câmara com atmosfera salina (NaCl em concentração de 10 % por massa) e

programada para manter uma temperatura de $40 \pm 5^\circ\text{C}$ durante todo o ensaio, que consiste de 30 ciclos. Cada ciclo corresponde a um mínimo de 14 horas onde:

- durante 6 h as amostras devem ficar expostas às ações da névoa salina;
- durante 8 h as amostras devem estar sujeitas a uma atmosfera seca.

Essa norma recomenda, ainda, que sejam feitas medidas de peso das amostras antes (M_0) e após o ensaio (M_n) e que a cada 15 ciclos sejam retiradas da câmara para inspeção visual. Os resultados devem ser reportados em termos de perda de massa e/ou resistência à compressão.

A perda de peso (ΔM) é calculada é pela expressão:

$$\Delta M = M_n - M_0/M_0$$



Figura 5 – Vista geral da câmara BASS modelo USC que é um equipamento simples utilizado para a realização de ensaios contínuos de névoa salina e de umidade.

As *Chuvas Ácidas* constituem uma terceira modalidade de operar com aparelhos que induzem o envelhecimento artificial acelerado. Tais equipamentos trabalham com soluções de pH inferior a 5,6 e têm como objetivo verificar a resistência dos materiais rochosos quando

expostos em ambientes com atmosferas industriais contendo contaminantes que em contato com a água podem provocar chuvas ácidas. Esbert et al. (1997) descreve alguns ensaios que podem ser utilizados para analisar os efeitos causados, tais como o **gotejamento** a partir de soluções

contendo ácido sulfúrico ou ácido acético (os mais comuns) e a **nebulização** também chamada de névoa ácida. Neste caso pulveriza-se a

solução sobre as amostras, várias vezes por dia mantendo-os sempre num ambiente com temperatura constante.



Figura 6 – Vista geral da câmara BASS MP. 65.01/2004. No alto, o painel de controle, em baixo, à esquerda, vista geral da máquina e à direita uma visão do seu interior contendo material para análise. Este equipamento realiza ensaios cíclicos.

Conforme mencionado anteriormente, além dos ensaios básicos e dos ensaios com atmosferas controladas existem muitos outros que, pelas suas peculiaridades, não podem ser enquadrados nestes dois tipos, sendo, assim, usualmente agrupados numa categoria muito vaga chamada de “Outros”. Entre os principais, um dos mais solicitados é o **ataque com soluções agressivas**.

Nesta técnica faz-se o ataque direto da solução escolhida sobre a amostra pétrea (Figura 7). É claro que o tipo de solução escolhida deverá estar de acordo com o material rochoso presente, pois, não haveria razão para, por exemplo, usar uma solução de um ácido forte para estudar os seus efeitos produzidos sobre um calcário. Para o

estudo de “granitos” *sensu lato* este ensaio consiste em colocar as amostras em soluções ácidas e alcalinas diluídas (ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico, hidróxido de potássio, hipoclorito de sódio, etc) simulando chuvas ácidas e/ou a utilização de produtos químicos domésticos usados na limpeza desses materiais. Os ensaios dessa natureza são procedimentos que não estão normatizados e, no Brasil são realizados com base no anexo H (normativo) da NBR 13818/97 – Pisos cerâmicos vidrados – Determinação da resistência ao ataque químico “que utiliza 5 tipos diferentes de soluções: ácido clorídrico, ácido cítrico, hidróxido de potássio, hipoclorito de sódio e cloreto de amônia.



Figura 7 – Aspeto do uso da técnica de *ataque com soluções agressivas*. Neste exemplo, as soluções são colocadas em formas de cano de PVC coladas, com silicone, sobre a pedra.

Uma outra técnica bastante em uso atualmente é a exposição da amostra às **radiações ultravioletas**. Com este tipo de análise estudam-se os efeitos produzidos pela incidência da luz solar sobre materiais pétreos, conjuntamente com a ação da chuva ou do orvalho, por vezes até mesmo com simulações através de vidraças de janelas. Este ensaio é indicado para avaliar as modificações cromáticas que podem produzir-se nas rochas por efeito da insolação. Os procedimentos para exposição das amostras de rochas a esse tipo de envelhecimento artificial seguem as diretrizes da norma ASTM G 53 que consiste em submeter os corpos-de-prova a irradiações com lâmpadas UV-B, por exemplo, com um pico de emissão de 313 nm e ciclos de 4 a 8 h de radiação UV a 60° C e 4h de condensação a 50° C em períodos que variam de quatro dias a 12 semanas. Durante o teste as lâmpadas são situadas a uma distância fixa da fonte (40 cm), sob determinadas condições ambientais. A Figura 8 mostra uma

câmara UV, bastante moderna, atualmente em uso na Divisão de Química do Nutec, de marca BASS, modelo UUV/2004. Este equipamento trabalha com 24 amostras em duplicata de forma ininterrupta por um período máximo de 16 dias que é o tempo de vida útil das lâmpadas (cerca de 400 horas).

Um ensaio muito em uso no Instituto superior Técnico em Lisboa é o da determinação da **Fadiga Térmica** (Figura 9) dos materiais rochosos através do seu envelhecimento por variações térmicas conjugadas com ambientes úmidos. O estudo é feito simulando o ensaio em vários “anos” laboratoriais (normalmente 10) onde cada ano laboratorial corresponde a 360 ciclos e um ciclo compreende 15 minutos com as amostras sob efeito de radiação infravermelha (250 W) durante 10 minutos alternado com períodos de 5 minutos de imersão em água a temperatura ambiente.



Figura 8– Aspetto geral da câmara de radiações ultravioletas. No lado direito observa-se a câmara aberta com a localização do posicionamento das amostras.



Figura 9 – Vista da câmara de fadiga térmica do IST. Notar a luz vermelha que corresponde à radiação infravermelha atuando diretamente sobre a amostra.

Outros ensaios podem ser utilizados como, por exemplo, o **desmonoramento**, onde a amostra é sujeita a uma série de ciclos de abrasão no estado úmido, cujo ensaio é realizado num aparelho chamado de “slake-durability test” (Esbert e al. 1997). Os resultados obtidos fornecem indicações importantes para o conhecimento da durabilidade dos materiais rochosos que contêm percentagens significativas de minerais argilosos.

Existem ainda os **Ensaio combinados ou mistos**, de maior complexidade, que comportam múltiplas variáveis ou agentes de alteração. Por exemplo, a combinação de ciclos térmicos (aquecimento – esfriamento) com exposição às radiações UV; ciclos de molhagem-

secagem com névoa salina ou concomitantemente com gases, etc.

MECANISMOS GERAIS DE AVALIAÇÃO

Caracterização tecnológica, câmaras de envelhecimento, fadiga térmica, chuvas ácidas, ciclos de molhagem-secagem e mais uma infinidade de termos, cada um deles referente a um determinado ensaio, são as ferramentas que dispomos para aquilatar as condições de alterabilidade/durabilidade de determinado material de revestimento pétreo. Entretanto, surge sempre a mesma pergunta: qual a utilidade prática de todos esses dados.

É claro que, devidamente analisados, servirão para ajudar os técnicos responsáveis pela sua aplicação (engenheiros e arquitetos) na escolha do melhor material que se adegue às características arquitetônicas e, especialmente as físico-ambientais de determinado local.

Entre os critérios de avaliação mais utilizados para decisão de qual material deverá ser utilizado, podem assinalar-se os seguintes (Quadro II) que são os recomendados pelas normas:

- Exames de superfície
- Perdas de peso
- Variações das propriedades físicas

Na avaliação dos *exames de superfície* é normal levar-se em consideração o que se passa com a cor da superfície, o seu aspecto, quais os danos que sofreu ao ter sido submetida aos ensaios e, finalmente, caso esteja disponível, podemos partir para métodos de observação mais sofisticados como, por exemplo, a análise digital de imagem.

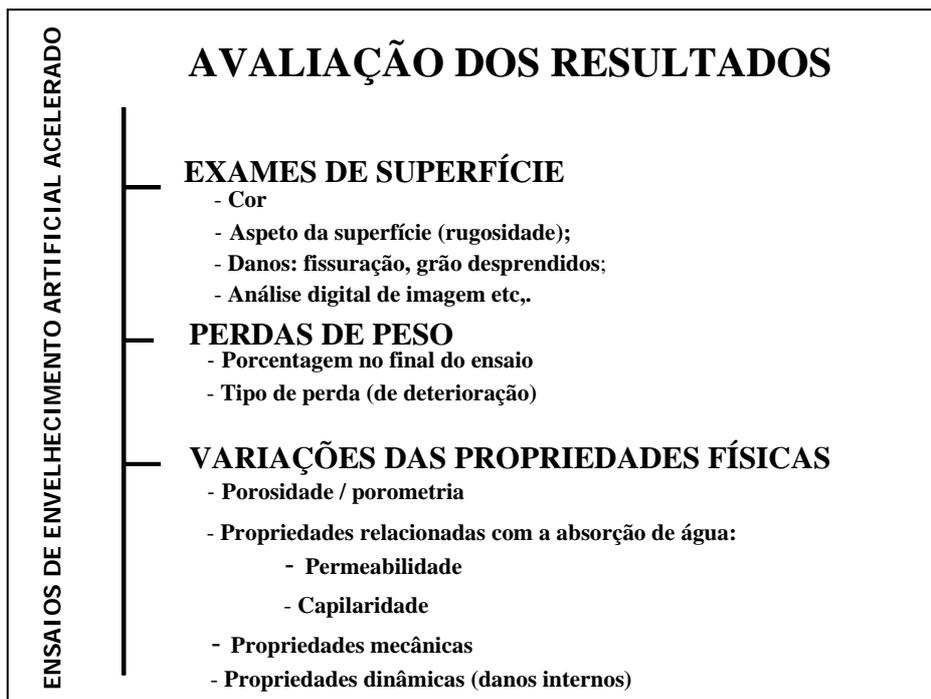
A *perda de peso* deve ser sempre encarada sob dois aspetos completamente distintos. Qual a quantidade de material que se perdeu (%) e como é que ele se perdeu (se por dissolução, se por desagregação, se por desgaste, etc.).

Finalmente, temos, com o estudo das *variações observadas nas*

propriedades físicas, uma ferramenta poderosa que nos vai permitir verificar onde e como se deram as alterações que foram originar as modificações na amostra estudada. Os diversos tipos existentes de porosidade são uma das melhores ferramentas para analisar o que se passou na rede de vazios de uma rocha, e, como todos sabemos, a maioria das propriedades físicas estão relacionadas a essa rede invisível de micro túneis e cavernas, fundamentais na estrutura da rocha não só no seu aspecto externo, mas também e, de forma muito importante, no seu comportamento mecânico.

A absorção de água é igualmente um fator que, em conjunto com o anterior, nos vai permitir decidir por determinada rocha. De acordo com a sua utilização futura, a quantidade de água que ela poderá receber nos seus poros pode ser um fator decisivo até mesmo para a sua estética uma vez que, juntamente com a água aparecem quase sempre, carreados, determinados elementos que podem ser contaminantes da sua cor e que ali irão ficar depositados quando ela se evaporar.

Por fim, as propriedades mecânicas e dinâmicas são igualmente fatores decisórios na escolha de determinado tipo litológico em detrimento de um outro até talvez mesmo mais bonito esteticamente, mas que não irá resistir às condições mecânico - ambientais que teria que suportar.



Quadro II – Parâmetros usuais de avaliação da qualidade de uma rocha ornamental para uso como material de revestimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12769/1992: Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado a verificação da resistência á compressão. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818/97: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Anexo H. Determinação da resistência ao ataque químico.
- AIRES-BARROS, L. 2001. As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias. Min. Cultura. Inst. Port. Ptrim. Arquitetônico. 2Vol. Lisboa, 535 pp.
- ASTM-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G53/84. Standard Practice for Operating Light – and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Tyte) for Expusure of Nonmetallic Materials
- ASTM-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2001. C119/01. Standard Terminology relating to dimension stone.
- CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. prEN 14147 – Determination of resistance to ageing by salt mist. Under approval, WI 246032.
- CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN13919, Determination of resistance to ageing by SO2 action in presence of humidity, Under approval, WI 246033.
- ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO, F. J. MONTOLO, M. 1997. Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerâmicos. Col.legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Bcelona. Barcelona. 140 pp.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA APLICAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.

José Lins Rolim Filho¹, Júlio César de Souza², Belarmino Barbosa Lira³, Márcio Luiz de S. C. Barros^{4}, Felisbela Maria da C. Oliveira^{5*}*

^{1*,2*,4, 5*} DSc. UFPE/DEMINAS

^{4*}MSc. UFPE/DEMINAS

* Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – 50.670-901 – Recife – PE
Fone: (81) 3271-8245/3271-8246 – E-mail: zelins@hotmail.com; mlbarros@npd.ufpe.br

RESUMO

No presente trabalho são apresentadas e discutidas a importância e a aplicabilidade dos principais ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais a serem realizados quando da escolha e aplicação de em obras civis. Também é apresentada uma avaliação dos valores limites dos ensaios contidos nas normas brasileiras e uma sugestão de interpretação dos resultados adotada como padrão no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais do DEMINAS/CTG/UFPE.

São ainda apresentados mais uma vez, sugestões de modificações nas normas atuais de forma a adequá-las as condições de uso, isto referentes aos ensaios de determinação de índices físicos, desgaste por abrasão Amsler e ensaios de resistência mecânica, visando uma maior padronização das metodologias laboratoriais.

Por fim são apresentados novos procedimentos de ensaios de rochas ornamentais desenvolvidos no DEMINAS/CTG/UFPE procedimento para realização de ensaios de alterabilidade química e ensaio de resistência ao cisalhamento no ponto de aplicação dos inserts metálicos para fixação de placas em fachadas aeradas/ ventiladas

INTRODUÇÃO

No Brasil, as normas existentes para caracterização tecnológica de rochas

ornamentais são baseadas nas normas americanas (ASTM American Standard of Testing and Materials). Isto tem gerado alguns desconfortos por parte dos pesquisadores que fazem parte do grupo de Rochas Ornamentais vinculado ao DEMINAS/CTG/UFPE. Algumas normas já existentes e padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) indicam valor padrão para alguns ensaios. Mesmo assim os procedimentos na realização de alguns ensaios incorrem em algumas metodologias, que na visão do nosso grupo, estariam inadequadas para a realização destes ensaios. Devido a isso o grupo vem sugerir algumas mudanças nestas metodologias e nos valores padrão para os ensaios tecnológicos de Rochas Ornamentais.

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A NORMATIZAÇÃO ABNT

Índices Físicos

Para a análise de Índices Físicos (Porosidade, Absorção e Massa específica (seca e saturada), as normas da ABNT sugerem o procedimento em que a rocha sofre aquecimento em estufa para a retirada de água para posteriormente ser submetida a uma saturação em água a temperatura ambiente. Em análises nos laboratórios do DEMINAS/CTG/UFPE, chegamos a conclusão de que não havia lógica neste procedimento, haja vista a saturação ser demorada e imperfeita. Além disso a ação de temperatura na secagem reabre as

microfissuras naturais das rochas, o que leva a resultados falsos.

Sugerimos para tais análises (índices físicos): saturação da rocha no seu estado natural em água fervente a fim de extrair o ar aprisionado na porosidade e microfissuras. Posteriormente, ao esfriar estes espaços estão completamente preenchidos com água, dando desta forma uma maior confiabilidade nos resultados.

Outrossim surge neste mesmo parâmetro a seguinte indagação; será que o resultado obtido estará refletindo a realidade no caso de rochas com baixa ou praticamente nenhuma permeabilidade? Ou seja os poros não tenham interconexão.

Na Tabela 1 são apresentados os valores para os índices físicos propostos pelas normas técnicas ASTM, IPT e pelo grupo de rochas ornamentais do DEMINAS/CTG/UFPE.

TABELA 1 - Valores sugeridos para valores dos ensaios tecnológicos de rochas ornamentais

		Densidade (g/cm ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm/1000 m)	Impacto (m)
GRANITOS	Mínimo	2,500	≤ 0,05 (s/restrições)	≤ 0,02 (s/restrições)	≤ 0,35 (alto pisoteio)	≤ 0,25 (s/restrições)
	Médio	2,650	0,70 (s/restrições)	0,25 (c/trat. superf.)	0,70 (pisoteio médio)	0,50 (quebradiço)
	Máximo	3,500	≥ 2,95 (com restrições)	≥ 1,15 (severas restrições)	≥ 2,05 (inviável ao pisoteio)	≥ 1,00 (com restrições)
Valores limites	Norma ASTM (C 615-92)	≥ 2,500 (C 97)	S/ESPECIFICAÇÃO	≤ 0,40 (C 97)	S/ESPECIFICAÇÃO	S/ ESPECIFICAÇÃO
	DEMINAS/UFPE	≥ 2,500	≤ 0,70	≤ 0,25	≤ 0,70	≥ 0,40
	IPT (Frazão, 1995)	≥ 2,550	≤ 1,00	≤ 0,40	≤ 1,00	≥ 0,40

Compressão Simples e Tração Por Flexão

Nestes ensaios, observam-se que as normas não levam em consideração as dimensões dos cristais formados, ficando assim, as dimensões dos corpos de prova inflexíveis. Desta forma geram-se problemas quando existem, nos corpos de prova ensaiados, amostras que apresentam cristais com dimensões maiores do que 40% de uma das dimensões do corpo de prova, caracterizando amostras não homogêneas, isto é, corpos de provas anisotrópicos.

Nesses casos é interessante que sejam realizados ensaios com corpos de prova de maior tamanho e que os resultados sejam posteriormente tratados com fatores de correção para comparação com os resultados obtidos com a norma.

Na Tabela 1, observamos os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para os ensaios de Compressão Simples e de Tração por Flexão.

Outrossim na norma brasileira (ABNT) não é levado em consideração a rigidez da prensa a qual é realizado o ensaio, isto leva a enganos no parecer final do resultado.

Impacto de Corpo Duro

Observamos nas normas existentes, equipamentos cuja proposta de fabricação não apresenta altura satisfatória. Em diversos testes realizados em rochas no DEMINAS/CTG/UFPE, a altura de queda, em experimentos reais, foi de até 0,85 metros. O equipamento dimensionado pela norma da ABNT para ensaio de corpo duro apresenta uma altura máxima de 0,40 metros, o que contradiz com a realidade da maioria das rochas existentes.

Na Tabela 1, estão expostos os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para o ensaio de Impacto de Corpo Duro.

Desgaste Amsler

Neste item foi observado que a especificação do material abrasivo (areia silicosa), não é precisa, haja vista, tratar-se de um material natural e que apresenta abrasividade variável e dependente da

sua composição mineralógica e angulosidade.

Sugerimos que tal ensaio seja realizado e normalizado com cristais de quartzo, ou vidro branco transparente com resistências e dureza e angulosidade dos grãos mais precisos. Os materiais utilizados como abrasivo quando normatizados tendem a apresentar uma maior representatividade e conseqüentemente uma maior repetitividade nos ensaios.

Na Tabela 1, estão representados os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para o ensaio de Desgaste por Abrasão Amsler.

Resistência ao Cisalhamento Para Aplicação De Insert Metálico

Sugere-se a aplicação de mais um tipo de ensaio tecnológico que se refere à resistência ao cisalhamento no ponto de fixação na placa (furação), quando utilizado o sistema de aplicação de placas em fachadas aeradas/ventiladas através de inserts metálicos. O objetivo deste ensaio é determinar a capacidade de suporte da placa nos locais de aplicação dos elementos de fixação metálicos em fachadas aeradas/ventiladas, através de ensaio de cisalhamento direto com quatro pontos, Figura 1.

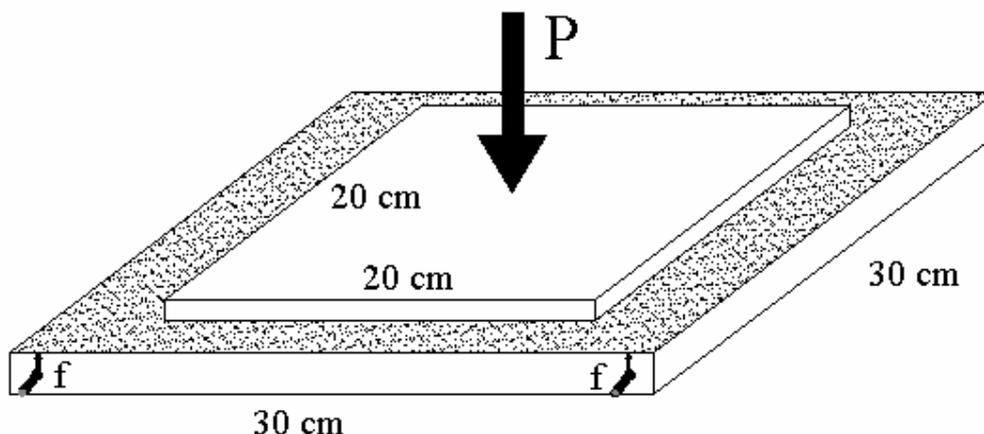


FIGURA 1- Esquema do ensaio de determinação da resistência ao cisalhamento

A ruptura ocorre nos pontos de aplicação dos pinos na placa, por mecanismo de cisalhamento. A tensão de ruptura é indicada pela força "P", tensão máxima de suporte da placa. Através desse valor pode-se determinar o tamanho máximo da placa que poderá ser utilizada em uma fachada ventilada/aerada, levando em consideração a pressão do vento determinada para o local onde será executada a obra, função do sistema de vento predominante na área.

Alterabilidade Química

Este ensaio, que talvez seja um dos principais para a utilização de rochas ornamentais em ambientes domésticos, é realizado de uma maneira até agora bastante simples e sem parâmetros técnicos eficientes, sendo mais avaliado subjetiva do que objetivamente. Nele são requeridos quatro placas de rochas ornamentais prontas para a utilização, de dimensões 30 x 30 x 3 cm.

A primeira placa é a placa de referência, pois nenhuma substância química é colocada sobre ela. Nas outras três placas são colocados reagentes de utilização domésticas como: detergentes líquidos, sabões, desinfetantes, vinagres, etc. Após determinado tempo de reação, as placas são limpas e comparadas com a primeira placa de forma subjetiva em função da alteração no seu aspecto estético e medido a perda de brilho e coloração em equipamento específico (colorimetria). Os tempos usuais de reação são: a segunda placa com 24 horas, a terceira com 48 horas e quarta com 72 horas.

Propõem-se a utilização de colorimetria como forma de leitura destas comparações, o que determinará o grau de alterabilidade face cada substância química em função das diferenças cromáticas observadas no colorímetro para as cores primárias. Além do colorímetro sugere-se a utilização de gloss-meter (reflectômetro) para avaliação das possíveis alterações superficiais que se pode determinar através de mudanças na reflectância da amostra.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS NA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

Generalidades:

As rochas tipo ornamentais sendo materiais pétreos e portanto naturais (heterogêneos e anisotrópicos) diferem dos materiais sintéticos por apresentam suas características tecnológicas variáveis no espaço explotável da jazida, logo partindo deste princípio destaca-se a importância na determinação de alguns ensaios tecnológicos quando de sua aplicação. Este fato faz com que grandes erros serem cometidos quando da aplicação de tais materiais sem que sejam realizados ensaios específicos referente ao lote então adquirido, erros estes que degradam a qualidade da obra e/ou mesmo ocasionam patologias irreversíveis por aplicação inadequada do material.

Em alguns casos, por falta de conhecimento em tecnologia geológica, a confiança depositada nos ensaios realizados durante a legalização da jazida junto ao DNPM, ocasião que ensaios pontuais (que representam apenas o local de amostragem), leva a danos irreparáveis durante aplicação destes materiais, exemplos desta ordem são verificados em obras as mais diverssas. As patologias decorrentes da ausência de uma boa caracterização podem ser destacadas as seguintes: Destacamento de minerais, eflorescência, descolamento de pedras, ruptura por compressão e ou tração, perda de brilho em curto tempo de exposição, desgaste superficial excessivo, Reatividade com o esboço de assentamento, reatividade com a atmosfera, reatividade com produtos de limpeza, fotosensibilidade, alterabilidade de minerais ferruginosos, dilatação térmica diferencial entre cristais com destacamento destes etc.

Nos itens seguintes serão discutidas as principais importâncias dos ensaios levando como base o que foi citado no item anterior **CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A NORMATIZAÇÃO ABNT.**

Índices Físicos

Conforme já citado em itens anteriores, os ensaios de determinação de índices físicos são constituídos dos seguintes parâmetros: Massa específica (seca e saturada), Absorção de umidade e porosidade. A partir dos valores obtidos nestes ensaios, quando interpretados, leva-nos a decidir sobre os seguintes itens:

Massa específica (seca e saturada), carga sobre a estrutura e/ou sua variação principalmente quando exposto a ambientes externos.

Absorção de umidade e porosidade nos leva a decidir sobre a necessidade ou não de impermeabilização previa principalmente se este material for aplicado diretamente sobre a argamassa, prever os procedimentos e/ou teor de umidade, tempo de aplicação de rejuntas após o assentamento da pedra, desta forma e possível evitar o fenômeno de eflorescência e ou manchas de umidade irregular (bordas ou central) fato muito comum em edificações em que tais ensaios não estão previstos e interpretados.

Compressão Simples E Tração Por Flexão

Estes ensaios têm como fins definir a qualidade do material no que se refere a resistência a esforços físicos, e desta forma definir os parâmetros geométricos estruturais de forma a resistir aos esforços então solicitados.

Estes ensaios permitem ao projetista e calculista da obra definir as relações mínimas de largura, espessura e comprimento de forma a executar obras com qualidade, garantia

segurança e economia de material, mão de obra etc... reduzindo ao mínimo quando combinado com os ensaios de massa específica os esforços sobre as estruturas e conseqüentemente as fundações etc...

Impacto de Corpo Duro

Na qualidade e pela própria expressão do ensaio, onde uma esfera de aço endurecido com peso predeterminado é lançado em choque perfeitamente elástico sobre uma chapa do material, observando-se em lupa as alterações sofridas na sua superfície, desde as microfissuras propagadas até a ruptura, só ai graças a metodologia utilizada identificam-se a finalidade do ensaio, onde os mais diversos materiais definem o ambiente de seu uso onde a probabilidade de impactos são de materiais rijos devem ser evitados, substituindo o material por elementos mais adequados.

Desgaste Amsler

A finalidade deste ensaio é semelhante ao definido pelo IP (para materiais cerâmicos), ou seja, definir o desgaste pó perda de qualidade com o pisoteio sobre o material, e desta forma definir o ambiente mais adequado para posição de determinada pedra no piso dentro do ambiente, isto permite ao arquiteto a retirada da monotonia ambiental onde cada local poderá ter uma textura e coloração diferenciada de acordo com a qualidade do material, assim sendo podemos citar como exemplo, ambientes de quartos e banheiros são permitidos rochas de maior desgaste que os ambientes de sala e cozinha onde o pisoteio é mais intenso, além de outras substâncias agressivas a serem analisadas em conjunto.

Resistência ao Cisalhamento para Aplicação de Inset Metálico

Este ensaio é de fundamental importância no dimensionamento das pranchetas ou planilhas a serem usadas no

caso de revestimentos de fachadas ventiladas definindo a quantidade de inserts adequando-os as especificações da rocha então utilizada. Observavam-se que a maioria das placas a serem usadas em revestimento de fachadas ventiladas apresentavam em sua maioria a espessura de 3 ou 4mm quando a partir de ensaios em nosso laboratório foi possível em vários granitos a aplicação de chapas com 2 e 2,5mm, isto representa grande economia não só nas chapas então obtidas (chapas fora de série) como ainda economia em esforços de aplicação, estrutura, segurança etc... Só neste lance é possível destacar a importância de tal ensaio quando do dimensionamento de tal material.

Alterabilidade Química

Geralmente os materiais usados em revestimentos estão sujeitos a agentes agressivos de material de limpeza os mais diversos, além do mais verificam-se neste ensaio a possibilidade de alterabilidade dos minerais quando sujeitos as mais diversas atmosferas diferentes das que foram geradas.

O ensaio de alterabilidade química tem ainda como fim distinguir o tipo e ou qualidade, necessidade de impermeabilizante ou hidrofugante a ser usado quando de sua aplicação.

Por meio deste ensaio é então possível definir a aplicação ou não de determinado material em um ambiente agressivo, assim como especificar qual a metodologia material e frequência de limpeza a ser usada no material em questão de forma a manter a qualidade e beleza do ambiente com suas características originais.

CONCLUSÕES

Existe uma clara necessidade de revisão dos procedimentos e alteração das normas técnicas para caracterização de rochas ornamentais da ABNT, devendo-se ter o

cuidado de adequá-las a realidade nacional e procedimentos de especificação do setor.

São apresentados duas propostas de reflexão e novos modelos para o ensaio de placas que serão utilizadas em aplicações através de inserts metálicos em fachadas de edificações, Como sugestão para os técnicos e que originam muitas patologia, devem ser realizados ensaios de reatividade com o esboço de assentamento, ensaios de arrancamento entre outros.

Apresentam-se também diversos parâmetros e importância para interpretação dos ensaios tecnológicos em rochas com fins ornamentais, comparando-os com as indicações da ASTM e com os valores sugeridos pelo IPT.

Do meu ponto de vista na elaboração dos ensaios tecnológicos, os laudos referentes pura e exclusivamente para apresentação aos órgãos governamentais, onde se analisam as jazidas como um todo e não referenciado a uma aplicação específica, estes podem sim ser elaborado seguindo as normas da ABNT. No caso de laudos onde se destaca uma aplicação específica em determinada obra, sugerimos que nos laudos finais devem ser levado em consideração não só o citado no caso anterior (órgãos governamentais) como ainda dados em que leva em consideração a aplicação final (incluindo-se ai o ambiente de aplicação, tipo de argamassa usada, indicativo ou procedimento de aplicação para a argamassa específica a ser usada na obra (ensaio complementar)). Desta forma evitam-se sérios danos patológicos por procedimentos inadequados na aplicação de rochas tipo ornamental.

BIBLIOGRAFIA

- Frazão, E. B.; Farjallat, J.E.S. Seleção de pedras para revestimento e prioridades requeridas. Rochas de Qualidade, São Paulo. N° 124, p 80 – 93, 1995.
- Frazão, E. B.; Farjallat, J.E.S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedra de revestimento. I Congresso Internacional da Pedra Natural, Lisboa, 1995. p 47 - 58.
- American Society for Testing and Materials – ASTN (C 615). Standard specification for granite dimensional stone. 1992
- Medeiros, T.J.L; Oliveira, F.M.C.; Melo, E.B; Barros, M.L.S.C e Rolim Filho, J.L. Propriedades físico-mecânicas das rochas ornamentais comercializadas no estado de Pernambuco. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, 2000. p 165.
- Rolim Filho, J.L, Importância e roteiro para definição de ensaios tecnológicos e características das rochas utilizadas para fins ornamentais – No prelo 2007

Importância da Pesquisa Geológica Regional na Descoberta de Novos Jazimentos de Rochas Ornamentais

Vanildo Almeida Mendes

Geólogo, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Ministério das Minas e Energia
Superintendência de Pernambuco

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais constituem um dos segmentos de maior crescimento no setor mineral, com o incremento médio na pauta de exportação de 10% ao ano, durante o período de 1997 a 2003.

Como todo bem mineral, são controladas por fatores geológicos que condicionam as características petrográficas, texturais e estruturais dos jazimentos. Em consequência, tais fatores devem ser identificados, avaliados e colocados em bases técnicas adequadas, com o intuito de servir de suporte a futuros investimentos.

O conhecimento geológico regional nos permite inferir a forma e distribuição das rochas, a existência de faixas potenciais, além da vocação de determinada região para a ocorrência de materiais clássicos, nobres e comuns (Chiodi Filho, 1994).

Fatores, tais como: cor, tonalidade, deformação estrutural, além das feições indesejáveis às operações de lavra, exemplificadas pela presença de xenólitos, veios, massas pegmatóides, fraturamento, existência de minerais de alteração e variações na continuidade litológica do corpo, devem ser avaliados em um estudo geológico regional e colocados em bases, visando atribuir índices de favorabilidade a determinada região.

AMBIÊNCIA LITOLÓGICA E CONTROLE DOS JAZIMENTOS

Em âmbito regional a simples variação de unidades litológicas e litoestratigráficas, nos permite interpretar, antever e fixar em bases previsionais os diferentes tipos de rochas possíveis de serem detectadas.

Dentre os granitos ditos nobres a cor azul está associada à presença de magmas subsaturados em sílica, onde a ausência de sílica livre, leva a formação de feldspatóides (nefelina e sodalita). Ocorre também relacionada a dumortierita em quartzitos. Em rochas vulcânicas a sub-vulcânicas contendo quartzo azulado típico de cristalização em altas temperaturas e em gnaisses a cordierita.

No caso dos granitos conhecidos comercialmente como movimentados ou com padrão fantasia, eles constituem afloramentos de terrenos gnáissicos-migmatíticos de alto grau metamórfico, passíveis de serem prospectados nas faixas antigas do embasamento, principalmente nos ambientes arqueano-paleoproterozóicos e mesoproterozóicos. Convém frisar, que o aspecto multicolorido, foliado e dobrado destes migmatitos ditos homogêneos, resultam da existência de neossomas bastante deformados e ricos em feldspato potássico, responsáveis pela coloração rosa-avermelhada dos litótipos (Mendes e Santos, 2003).

Os granitos verdes, quando homogêneos e de textura grosseira, relacionam-se a magmas charnoquíticos, enquanto os denominados verdes movimentados tipo Candeias associam-se a terrenos granulíticos-charnoquíticos antigos. Tem-se ainda materiais multicoloridos mas com predominância da cor verde, tanto em rochas calcissilicáticas, quanto nos metaconglomerados polimíticos e monomíticos inclusos nos cinturões metamórficos regionais.

Os granitos leucocráticos, denominados comercialmente de granitos brancos, ocorrem em regiões de magmas trondhjemíticos e em exposições de albita granito. Os conhecidos granitos cinza-claros, exemplificados nos tipos Ouro Branco, Cinza Prata e Bianco Jabre, constituem afloramentos de granitos classificados petrograficamente como “S” de origem crustal e composição metaluminosa a peraluminosa leucocrática (Mendes et alii, 2002).

Os granitos denominados preto verdadeiro ou absoluto representam exposições de rochas máficas. Quando apresentam textura fina constituem exposições de rochas vulcânicas ou subvulcânicas, presentes tanto em faixas de reativação de plataforma compreendendo enxames de diques ou em bacias intracratônicas sob a forma de sills ou derrames. No caso da textura equigranular ou porfirítica corresponde a exposições de rochas de composição gabróide a gabro-noríticas de textura grosseira, pertencente a complexos plutônicos intrusivos.

Os granitos conhecidos como homogêneos, isto é, destituídos de foliação, associam-se a corpos plutônicos intrusivos, constituindo estruturas circulares e semicirculares com forma geral variando de arredondada a elíptica. Os tipos de coloração róseo e avermelhado, associam-se geralmente a complexos graníticos de composição alcalina ricos em ortoclásio e microclina. Atualmente o Estado de Pernambuco produz os Vermelhos Ipanema e Ventura, de textura granular e porfirítica, respectivamente, e relacionados aos

plutonitos da Suíte Potássica Calcioalcalina (Mendes e Paiva 2003).

Associados a corpos de anortositos, ocorrem tipos bastante conhecidos no mercado, exemplificados pelos granitos Baltic Green e Baltic Gray.

As rochas de tonalidade marrom e granulação grosseira, associam-se a plutonitos da Suíte Shoshonítica e composição sienítica. Como exemplos brasileiros temos o Café Bahia e o Marrom Imperial.

Os granitos ditos amarelos resultam da alteração do feldspato pela ação do intemperismo químico. Em consequência, na pesquisa deste litótipo é importante a elaboração de furos de sondagem, com o intuito de definir-se a espessura da porção intemperizada e, conseqüentemente, o volume da fácies amarelo e a viabilidade econômica de sua exploração. Convém mencionar, que litótipos desta cor são bastante raros e possuem grande aceitação mercadológica.

Tem-se ainda rochas ornamentais associadas a metapsamitos (metarenitos, quartzitos e metaconglomerados), os quais de acordo com a sua composição apresenta cores variadas. Exemplificados por litologias escuras como o Chocolate Brasil e outras de tons claros como o Rosa Bahia.

É bom salientar que o controle dos jazimentos acha-se condicionado não apenas ao tipo litológico, mas também pelo tectonismo atuante em determinada região. Como exemplo, pode-se citar o “Granito Via Láctea” aflorante em Belo Jardim-PE., cuja tonalidade azulada, resultou do aumento da temperatura provocada pela ação mecânica, ocorrida durante o cisalhamento transcorrente atuante naquela área. Tem-se ainda o controle tectônico-estratigráfico, o qual pode ser exemplificado pelo granito Azul Sucuru, associado a riodacitos porfiríticos, intrudidos durante a fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro. Eventos semelhantes ocorrem em Paramirim no Estado da Bahia, onde aflora o Azul Paramirim. Relacionados ao mesmo

evento, ocorrem os granitos multicoloridos, grosseiros de textura pegmatóides, expostos nos terrenos da Subprovincia Rio Grande do Norte e considerados como pós-tectônicos ao Brasileiro.

Os condicionantes dissertados para granitos aplicam-se também aos mármore, os quais constituem exposição de rochas calcárias metamorfasadas ou sedimentares com diagênese alta, que apresentam alguns condicionantes capazes de interferir no seu aspecto estético e que devem ser apreciados:

- Presença de estruturas estromatolíticas, associadas a paleoambientes específicos detectáveis nas faixas dobradas portadoras de rochas carbonáticas, às vezes portadoras de padrões estéticos movimentados bastante apreciados no mercado;
 - A composição da rocha carbonática, quanto ao maior ou menor teor de magnésio, influí também no seu aspecto estético, pois os mármore dolomíticos apresentam granulação fina e são mais competentes que os calcíticos, isto é os calcários calcíticos são mais plásticos e sujeitos a dobramentos, enquanto os dolomíticos são mais frágeis, passíveis de quebra e a formação de veios (Chiodi Filho, 1994). A plasticidade provoca o aparecimento de desenhos e, portanto diferentes padrões estético-decorativos;
 - Concentrações de matéria orgânica e demais impurezas nos sedimentos, devem ser perseguidas pois elas podem originar mármore escuros ou com padrões cromáticos diferentes muito valorizados comercialmente.
- Com base no exposto, verifica-se que os parâmetros ora mencionados podem ser utilizados tanto na pesquisa de rochas silicáticas, quanto carbonáticas. Os mesmos devem ser geologicamente detectados, discriminados e avaliados, durante os serviços de prospecção regional, com a finalidade de constituir guias prospectivos e previsionais para materiais com certas características cromáticas desejáveis.

ESTUDO GEOLÓGICO REGIONAL E IMPORTÂNCIA DOS MAPAS PREVISIONAIS

Programas prospectivos regionais constituem um importante instrumento de apoio oficial ao desenvolvimento do setor de rochas ornamentais. Sua execução reveste-se de caráter institucional, sendo atividade típica de governo. Tal programa tem por objetivo aferir o potencial geológico de determinada região, além de gerar informações sobre infraestrutura, áreas aflorantes, painel de direitos minerários, amostras e conteúdo fotográfico sobre litótipos catalogados, propiciando assim ao setor privado subsídios técnicos que minimizem os riscos de investimento no desenvolvimento de novas jazidas.

Durante a fase inicial dos trabalhos de mapeamento regional voltado para a pesquisa de rochas ornamentais, deve-se utilizar a interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélite através de técnicas de sensoriamento remoto. Tais metodologias nos permitem a definição e a cartografia preliminar dos principais domínios litológicos: a localização das áreas com rochas aflorantes, incluindo setores com matações e maciços; discriminação das formas de relevo, sua evolução e paisagens geradas; além da interpretação e avaliação dos parâmetros tectônicos e estruturais da região, incluindo fraturas, presença de faixas dobradas e zonas de cisalhamento.

Após a elaboração do mapa fotogeológico preliminar, deve-se avaliar e integrar os estudos aerogeofísicos disponíveis, interpretá-los e correlacioná-los com os elementos obtidos durante a análise das fotografias aéreas e das imagens de satélite. A integração dos elementos extraídos durante a aplicação das presentes metodologias, seguida dos trabalhos de compilação bibliográfica, nos permite elaborar o mapa prospectivo preliminar, o qual servirá de base para os futuros trabalhos de campo.

A elaboração de programas de pesquisa regional, deve contemplar 03(três) etapas de trabalho:

- * A fase inicial: inclui a compilação de dados e a análise da bibliografia geológica disponível, a interpretação fotogeológica, seguida da avaliação e integração com os dados aerogeofísicos disponíveis.
- * A fase operacional: compreende o período de execução dos trabalhos de campo, o qual corresponde aos serviços de mapeamento geológico, estudo e cadastro das Ocorrências e amostragem dos litótipos detectados.
- * A fase de consolidação dos dados: corresponde à etapa de avaliação, consolidação e integração dos dados obtidos durante o transcorrer das atividades.

A primeira etapa culmina com a elaboração de um mapa prospectivo preliminar, de uma carta sobre as condições de infra-estrutura e um painel sobre os direitos minerários. Durante a sua execução, serão elaboradas a montagem e confecção das fichas para cadastro das ocorrências e adquiridos os equipamentos necessários à execução dos trabalhos de campo.

Na fase de campo deverão ser checados e estudados os diferentes domínios litológicos fotointerpretadas, incluindo cadastro, análise estrutural e amostragem das ocorrências conhecidas e inéditas. Inclui ainda a definição dos controles litológicas e estruturais dos jazimentos visitados, a avaliação "in situ" dos aspectos geológicos e geomorfológicos de interesse, incluindo a análise das feições litológicas, estruturais e tectônicas dos diferentes domínios detectados.

Durante a fase de consolidação de dados, as amostras coletadas serão enviadas para o laboratório, visando à realização de análises petrográficas, ensaios de caracterização tecnológicas e confecção de

chapas serradas e polidas. Nesta fase, após a avaliação e integração de todos os elementos disponíveis, será elaborada a versão definitiva do mapa prospectivo regional acompanhado da nota explicativa, fichas de cadastro e catálogo das ocorrências estudadas, o qual encerra o acervo fotográfico das feições de campo e das peças do mostruário. Em anexo, segue um painel sobre direitos minerários, carta de infra-estrutura, diagnósticos setoriais e uma descrição sumária sobre as ações a serem desenvolvidas, visando o incremento do setor.

OBJETIVOS A SEREM ALCANÇADOS

Fornecer ao setor empresarial informações de cunho geológico confiáveis e que servirão de suporte a investimentos futuros na geração e desenvolvimento de novos jazimentos de rochas ornamentais.

Divulgar informações técnicas, junto aos setores interessados, sobre o potencial geológico em rochas ornamentais de uma determinada região, contribuindo assim para a atração de novos investimentos e geração de emprego e renda.

Enviar para os principais produtores e consumidores dados técnicos e fotográficos sob os litótipos cadastrados, visando à elaboração de uma avaliação comercial objetiva dos materiais selecionados.

Confecção de um dossiê sobre cada ocorrência cadastrada, o qual deverá incluir fotos dos jazimentos e das placas polidas, dados sobre a localização, resultados de análises, ensaios tecnológicos, aplicações recomendadas, comentários sob reservas potenciais, perspectivas de mercado, preços prováveis, além de tópicos sobre a geologia de cada setor estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chiodi Filho, C. - Pesquisa Geológica: O Primeiro Passo - In: Revista Rochas de Qualidade N° 117 Abril/Maio/Junho - 1994- p. 58-71.
- Mendes, V. A . ; Paiva, I. P. - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Garanhuns. Esc. 1:250.000- CPRM-2003.
- Mendes, V. A.; Santos, C. A. dos - Jazimentos de Rochas Ornamentais da Província Borborema. In; IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, (1). 2003- Fortaleza - p. 33-39.
- Mendes, V. A.; Paiva, I. P. ; Silva Filho, A. F. da - Condicionamento Geológico das Ocorrências de Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. Esc. 1:250.000. In; III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, (1). 2002- Recife - p. 99-112.
- Seoane, J. C. S.; Osako, L. S. ; Silva Filho, A. F. da; Mendes, V. A. -Integração e Avaliação de Base de dados de Prospecção de Granitos e Migmatitos, em Sistema de Informações Geo- Referenciadas. In; III Simpósio de Rochas Ornamentais da Província Borborema. (i). 2002- Recife - p. 124- 131.

Pesquisa Geológica de Detalhe em Jazidas de Rochas Ornamentais

Evenildo Bezerra de Melo (Expositor)
Felisbela Maria da Costa Oliveira.

Grupo de Pesquisa de Rocha Ornamental e Minerais Industriais.
Departamento de Geologia.
Centro de Tecnologia e Geociências.
evenildodemelo@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A palestra intitulada “**Pesquisa de detalhe de rochas com finalidade ornamental**” pretende abordar dois vieses: 1) o sentido mais natural de enfoque de cada categoria profissional mais diretamente envolvida com a busca e a aplicação das rochas e 2) os aspectos do conhecimento acumulado, expostos de forma mais simplificada e acessível quanto possível. Para embasar a abordagem segundo o viés anterior, serão resgatados, envolvidos e correspondidos os conceitos de Geologia que permitam prévia avaliação dos potenciais das rochas conforme a procedência (mapas geológicos, geologia estrutural e geotectônica), conforme a abertura da pedreira (envolvendo conceitos de bloco de partição e de anisotropia de susceptibilidade magnética) e, finalmente, aspectos de laboratório tais como textura, petrografia, índices físicos e resistências, não raro susceptíveis de correspondência com os aspectos de estética e de mercado.

Na expectativa de melhor subsidiar a informação aos participantes elaborou-se um resumo do programa com conteúdo básico pertinente.

A natureza da palestra tem em sua essência, a otimização dos conhecimentos sobre a matéria-prima, permitindo subsidiar segurança ao melhor e mais adequado uso, minimizando desperdícios e contribuindo para a preservação ambiental.

É proposta que resulte aos participantes o conhecimento básico, prático ao máximo possível, que lhes desperte aos cuidados com a caracterização de bens minerais e respectivas utilizações, principalmente na situação mais vigente em que se requer rapidez na escolha.

Em síntese:conhecer na essência para melhor e mais adequadamente usar.

CONTEÚDO

O conteúdo da palestra se refere à caracterização da matéria-prima e formas práticas de buscá-la. Outrossim, comparam-se as propriedades das rochas de revestimento com a cerâmica, seu mais ilustre concorrente.

Portanto, dentro do princípio “do geral ao particular” faz-se rápida abordagem dos principais tipos de rochas colocadas à disposição do mercado (sedimentares como arenitos diagenisados; metamórficas como quartzitos, filitos, ardósias, mármore e magmáticas como os granitóides) e suas ocorrências, bem como as informações e ferramentas mais usuais, sejam as cartas geológicas e geofísicas, sejam os métodos disponíveis para otimizar a localização e abertura de uma pedreira.

Lembrar que uma fotointerpretação geológica, cartas geofísicas, fundamentadas em imagens de radar e satélites estão disponíveis e podem minorar os danos ambientais de uma pedreira inadequadamente aberta.

Assim, desde a iniciativa da busca de áreas, a caracterização do material até a detecção dos problemas pertinentes, a abordagem pode ser dividida em :

- nivelamento básico à questão: mineralogia, petrografia e texturas;
- verificação do acervo cartográfico, fotográfico, imagens etc para melhor avaliação e escolha da(s) área(s)-alvo(s), dando maior enfoque às condições do “emplacement” do corpo, provavelmente refletíveis em problemas como “tensões residuais de campo” e bloco de partição natural;
- estudo da geometria estrutural para definição do “bloco de partição” e melhor escolha das superfícies *alongante, trincante e levantante*;
- estudo das deformações, inclusive a partir de pequenos corpos de enclaves e/ou fenocristais, os mais usuais marcadores de deformação (“strain”);
- estudo da qualificação e quantificação dos litotipos constituintes ou presentes;
- estudos de laboratórios, tanto de natureza petrográfico-textural-mineralógica, quanto os ensaios para busca dos parâmetros geotécnicos tais como resistências à compressão, à tração, ao impacto e à abrasão (Amsler), índices físicos (absorção de umidade, porosidade, permeabilidade), brilho, “fechamento” do polimento., alterabilidade etc;
- estudo comparativo entre o material pesquisado e os já postos à disposição dos consumidores, para subsidiar programa de ação, inclusive de “marketing”.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Investigar Rochas para fins Ornamentais implica principalmente no estudo dos granitóides e mármore, sendo as primeiras rochas caracterizadas por maior potencial econômico, pois coloca o Brasil ao lado da Índia, na qualidade de terceiro produtor mundial, apenas superado por Espanha e África do Sul.

Do ponto de vista petrográfico e geoquímico, as rochas graníticas envolvem uma bibliografia muito vasta. Todavia, o seu caráter ornamental tem merecido uma simplificação da bibliografia geológica pertinente, ao mesmo tempo em que incorpora publicações voltadas para Arquitetos, “Designers” e Engenheiros, bem como para Empresários de diversas origens profissionais. Destacam-se nesta linha as revistas *Rochas de Qualidade*, *Rochas & Equipamentos* e *World Stone Industry*

No Nordeste, o esforço de órgãos de governos estaduais como na Bahia, Ceará e Pernambuco levou à edição dos estudos sobre as respectivas potencialidades.

MARANHÃO (1982), em trabalho contratado pelo Governo de Pernambuco, apresentou os dados mais genéricos das principais ocorrências naquele Estado, incluindo ilustração com chapas polidas.

Trabalhos de consultorias particulares, via de regra de caráter restrito, como o da MINERDATA (1991), onde se registram alguns dados significativos tais como: frequência do tipo petrográfico, por cor, por distribuição geográfica, além de breve descrição petrográfica sem avaliação textural etc.

A CPRM - Serviço Geológico do Brasil concluiu a elaboração de um *Mapa de Atratividade Econômico-Geológica para Rochas Ornamentais* (Pessato & Barbosa), que contou com a consultoria do geólogo Clécio de Souza Rodrigues.

A Universidade Federal de Pernambuco executou projeto aprovado pela FINEP (*Projeto de Engenharia e Desenvolvimento Regional*) que inclui a linha de pesquisa *Rochas Ornamentais* (1996). A partir desse Projeto, consolidaram-se os grupos de pesquisa nos Departamentos de Engenharia de Minas e Geologia.

A Escola Técnica Federal do Rio Grande do Norte também desenvolveu projeto para cadastramento e classificação das rochas daquele Estado com potencialidades ornamentais, germinando também um grupo de pesquisa ligado aos cursos para Técnicos em Mineração e Geologia.

CONHECIMENTOS GERAIS

A exploração de rochas ornamentais tem se dado em *matacões* e *maciços*.

A primeira forma de ocorrência é a inicialmente escolhida pelos empreendedores.

Apesar de mais fácil e de menor custo, traz a dificuldade da falta de reprodutibilidade da qualidade do material, afora a possível inadequação da forma esculpida pela erosão com a forma que ofereça melhor potencialidade à extração de chapas comerciais.

A segunda forma de exploração traz mais marcantemente os traços das tensões residuais de alívio a partir da criação de faces livres no maciço. Este problema é sobretudo incisivo quando os desníveis topográficos superam os trinta metros.

Apesar da natureza empírica destas informações, elas se respaldam na prática observada na região Nordeste, principalmente nos Estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

Considere-se que interferem sobre os materiais pétreos dois tipos de fatores: intrínsecos e extrínsecos. Estes ligados com as condições climáticas e características dos locais de aplicação, enquanto os primeiros

dizem respeito às características de cada material.

Portanto, é necessário o conhecimento da qualidade do material, fazendo-se oportuno um breve resgate de conhecimentos sobre Mineralogia e Petrografia.

Mineralogia

Tabela-síntese

Uma tabela-síntese organiza os minerais segundo a composição química, especificando propriedades distintivas como brilho, cor, cor do traço, dureza, peso específico, alterabilidade etc .

Analisa-se sucintamente os principais minerais e suas intervenções habituais nas rochas para fins ornamentais, com destaque para os grupos dos carbonatos e silicatos, cujas diferenças essenciais de dureza e variação na quantidade da clivagem traz desdobramentos para as propriedades geomecânicas, principalmente quanto às resistências à abrasão, impacto e compressão.

É interessante ter em mente que a cor e o brilho são as propriedades mais amplamente observadas e juntamente com o preço do produto compõem a trama de argumentos mais interferentes na escolha.

Interessante ainda considerar que o custo final depende da raridade de frequência e ocorrência do tipo de rocha ornamental desejado, mas também é uma função da dureza e resistências à abrasão e impacto, propriedades frequentemente solicitadas ao material por ocasião de seu desmonte, aparelhamento de blocos e preparação de chapas.

Relações texturais-estruturais

A granulação dos minerais e seu arranjo resulta em diversas relações de auto e xenomorfismo.

As dimensões dos indivíduos minerais, sua variação e a relação de concavo-convexidade dos contatos podem sugerir a ordem de cristalização e portanto as possibilidades de “envelopamento” de minerais mais degradáveis.

Esta feição também pode explicar variação nas tonalidades de cores rósea a avermelhada nos K-feldspatos, que juntamente com plagioclásios com e quartzo compõem os minerais essenciais de cada rocha, isto é, aqueles que ocupam mais de 90% em volume da rocha.

A caracterização de intercrescimentos (principalmente pertítico, antipertítico, mirmequítico e gráfico) de minerais essenciais tem ajudado na compreensão e prevenção de problemas como alterabilidade da rocha, ou ainda com o fechamento do seu brilho, ou também com anômalas resistências à abrasão.

Os tipos de alteração de minerais e sua relação com propriedades das rochas aplicáveis ornamentalmente: alterabilidade, porosidade, absorção d’água e fechamento do brilho.

O estudo dos enclaves (blastos e clastos) para avaliar a respectiva interferência nas propriedades de resistência mecânica, conforme haja maior ou menor solução de continuidade das propriedades da rocha nos campos de predomínio dos enclaves. Adicionalmente estas feições transmitem um padrão estético mais “movimentado” ao material pétreo.

O estudo da recristalização e/ou recuperação estrutural sobre rochas anisotrópicas é uma excelente ferramenta para entender e melhor aplicar as variações de propriedades geomecânicas que a anisotropia proporciona.

A definição da freqüência com que ocorrem os tipos de elementos geométrico-estruturais (fraturas, clivagens de rocha, foliações, lineações) é interessante para : i.) o estabelecimento de bloco de partição; e ii.) o

estabelecimento de relação com a recuperação estrutural.

As propriedades físico-mecânicas e reológicas das rochas

A granulometria mais fina, aumenta a superfície específica (relação entre área da superfície do grão e o seu volume) e estimula a decomponibilidade da rocha, sobretudo em ambientes mais reativos, como aqueles com problemas de “chuva ácida”.

Porosidade aparente e absorção d’água são parâmetros que podem inviabilizar o uso da rocha para revestimento externo e pisos, sobretudo de banheiros, cozinhas, vizinhanças de “freezer” etc.

Peso específico cujo conhecimento auxiliará a boa definição do cálculo da carga estrutural, por ocasião do uso em pisos, revestimentos etc.

Resistência à tração e à compressão, do que depende a utilização do material ornamental como suporte de carga.

Desgaste por abrasão (ou ensaio Amsler) e impacto (choque) que definem a utilização da rocha em pisos em que se processe acentuado atrito ou em pistas de rolamento, tais como aeroportos, supermercados etc.

A alterabilidade superficial possui importância tanto maior quanto mais voltada para os centros urbanos e proximidades de áreas industriais for a aplicação do material ; outrossim apontará a melhor adequação dentre as opções de aplicação : balcões de cozinha, pias, banheiros, revestimentos internos ou externos etc.

A dilatação térmica é importante à determinação do uso de juntas de dilatação em pisos e fachadas.

Gelo e degelo, cuja importância é maior quando o material se destina à exportação e uso em regiões de invernos rigorosos, em que

os contrastes de temperatura são bem acentuados. Sua maior contundência se vincula com rochas de elevada absorção d'água.

Lustro, propriedade que indica o potencial de preservação estético-decorativa da rocha, poupando o trabalho de manutenção : sua avaliação é feita com um equipamento adequado denominado *Glossmeter*.

Fechamento, propriedade que varia diretamente com o potencial de sericitização, argilização e carbonatação da rocha. Assim um monzosienito tem melhor fechamento do que um granito ou um sienito.

Finamente é preciso esclarecer que a *reologia* é o ramo da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são sólidos, nem líquidos. Portanto, como os minerais formadores de rochas, sob condições de alterabilidade ficam pastosos e não raro argilizam, parâmetros como *fechamento do brilho* e *dureza* resultarão como desdobramento da viscosidade, plasticidade, elasticidade e escoamento de matéria.

Alterabilidade

É um dos fenômenos cuja compreensão é facilitada com o conhecimento da mineralogia.

Sabe-se que o intemperismo sobre as rochas se manifesta graças à combinação de fenômenos de dilatação térmica e/ou ataque químico. Assim, os minerais são desestruturados e se decompõem nos diversos óxidos, principalmente dos elementos maiores.

Considerando que as mobilidades e hidrossolubilidade do *Na* e *K* superam as de *Al*, *Ca*, *Fe*, *Mg*, *Ti*, *Mn*, *P* e *Si* resulta compreensível que uma rocha que contenha plagioclásio é mais susceptível à alteração do que outra que contenha predominantemente K-feldspato.

Neste sentido é conveniente lembrar, a seguir, as condições vigentes em atmosferas sob impacto de poluição.

O triângulo de StreiKeisen ou QAP foi adaptado para se explicitarem as alterabilidade de diversas rochas magmáticas do ponto de vista de alterabilidade.

Recuperação de informações sobre Petrografia

As classificações petrográficas de rochas magmáticas são sucintamente abordadas, inclusive cotejando-se os principais litotipos do mercado, utilizando-se os triângulos de Streckeisen.

Discute-se a ação dos minerais essenciais das rochas, sua decomponibilidade e as conseqüências mais plausíveis como:

- carbonatação/saussuritização que acaba contribuindo para a qualidade do brilho e estética da chapa polida; é o caso das rochas monzoníticas até mais cálcicas, cujas chapas possuem melhor "fechamento" ;
- a presença dos minerais máficos, em que precisa ser verificada sua natureza ferro-magnésio-titanífera com o propósito de prever alterabilidade: ao microscópio as cores de pleocroísmo já oferecem uma indicação qualitativa sobre a questão;
- texturas do tipo "rapakivi", zonação, geminação e principalmente intercrescimento dos minerais essencialmente formadores das rochas, com o propósito de entender situações como:
- durezas inesperadas, conforme o exemplo do monzo-sienito de Bom Jardim-PE, o "Marrom Imperial" que se revelou mais duro (tempo de penetração quase duplicado) do que granitos de Afogados da Ingazeira-PE, por ocasião de recente amostragem por perfuração com finalidade de estudos de anisotropia de susceptibilidade magnética;

- brilho e estética peculiares como nos casos em que os plagioclásios e intercrescimentos sejam majoritários, resultando em “iridiscência” devido à carbonatação e sericitização;
- os microfissuramentos nos cristais de quartzo e feldspatos, principalmente quando estes estão em processo de alteração hidrotermal :
- *feldspato + água = sericita + margarita + argila + (calcita + epidoto) + **quartzo** (que assume disposição de película envolvente);*
- os intercrescimentos mirmequíticos como explicação da variação (redução) da dureza em função do *efeito-matriz*, não obstante a quantidade de quartzo;
- o auto-ajustamento de rochas magmáticas de alta temperatura às condições de menor temperatura, indicado pela presença de textura de substituição do tipo simplectita, contatos de borda de reação etc;
- os fenocristais, os porfiroblastos e os porfiroclastos : diferenças e significados, inclusive quanto à solução de continuidade de resistências mecânicas;
- a presença de apatita acicular vinculada com coexistência de magmas e a maior resistência dos enclaves neste tipo de formação de rochas magmáticas;
- a sucessão mineral e o “envelopamento” de minerais alteráveis ou mais resistentes, inclusive ao corte e à abrasão.

Finalmente no triângulo de Streckeisen serão indicados os campos de rochas e suas aplicações mais adequadas.

Estudos de laboratório

Microscopia

Afora o suporte ao item anterior, do estudo microscópico será resgatada ainda a identificação de pertinências tais como:

- recuperação estrutural da rocha;

- inclusões minerais, intercrescimentos (pertita, antipertita, alterabilidade e peculiaridade na chapa polida (a iridiscência, por exemplo);
- texturas minerais (blasto ou clasto, por exemplo) e a respectiva resposta à distribuição das tensões superficiais.

Cuidou-se em oferecer um roteiro de estudo das propriedades microscópicas, enfatizando-se a praticidade de identificação dos minerais essenciais, quartzo e feldspatos, principalmente.

Portanto, dividiram-se as propriedades conforme a sua observação ortoscópica (com nicóis paralelos ou cruzados) ou conoscópicas, conforme segue:

- ortoscópicas com nicóis paralelos: cor, pleocroísmo, opacidade ou transparência, relevo, índice de refração (através da migração da “linha de Becke”), cintilância, clivagem e ângulo entre elas;
- ortoscópicas com nicóis cruzados : opacidade ou transparência (confirmação), posição de extinção (medição do ângulo em relação a traço de clivagem ou geminação), geminações, zonação, intercrescimentos, aparência picotada, cores de interferência, birrefringência, orientação óptica da seção estudada, alongação;
- conoscópicas: biaxialidade / uniaxialidade, angulo 2V, sinal óptico.

É importante enfatizar o uso da ferramenta *microscopia* pela possibilidade que oferece de distinção dos feldspatos, dos intercrescimentos e da estruturação e deformação, inclusive do quartzo.

Sabe-se, por exemplo que os K-feldspatos são exclusivamente biaxiais negativos e têm índice de refração geralmente menor do que os plagioclásios, embora o seu ângulo 2V seja maior. Outrossim o tipo de geminação é distintiva, pois:

- -os K-feldspatos apresentam os tipos Carlsbad ou paralela simples, nos ortoclásios, enquanto a microclina exibe o tipo cruzada;
- -os plagioclásios apresentam os tipos *polissintética paralela*, *albita-Carlsbad* e *periclina*, sendo possível em seções perpendiculares a (010) a identificação do tipo de plagioclásio combinando-se o ângulo de extinção médio e o sinal óptico.

A força da microscopia neste tipo de estudo está no fato de que tonalidades de cores rósea, vermelha, mel etc têm se mostrado coincidentes com a presença de intercrescimentos em quantidades superiores a 20% na composição modal da rocha. À propósito, quanto mais plagioclásico for o hospedeiro do intercrescimento mais iridiscente é o brilho da chapa polida, melhor é o fechamento do polimento e os campos róseo a creme dos K-feldspatos se mostram esparsamente distribuídos em matriz branca (plagioclásio albitico) até matriz cinza esverdeada (plagioclásio anortítico saussuritizado).

A cor verde tem se mostrado associada com epidotização e/ou saussuritização, bem como associação com diopsídio. Por seu lado, a cor azulada parece se vincular com associação mineral sódica, inclusive anfibólio e piroxênio. Outrossim, o quartzo deformado em regime dúctil-frágil também reforçaria a cor azul, como o exemplo do granito “sucuru” , petrograficamente um *dacito*.

A cor em tonalidades de amarelo parece decorrer de hidrotermalismo e sucessivamente intemperismo e hidroxidação de minerais ferromagnesianos, via de regra biotitas desferrificadas.

ESTUDO DOS TIPOS COMERCIALIZADOS

Apresenta-se estudo de casos numa tabela que, embora susceptível de

atualização, retrata a distribuição por tipo petrográfico.

Abordam-se os principais tipos de rochas com potencialidade ao uso ornamental, as aplicações já conhecidas e as potencialidades a serem buscadas.

Finalmente apontam-se as possíveis vinculações entre a composição mineral essencial da rocha, inclusive alterações, com o “fechamento”, isto é, com a qualidade e uniformização no polimento.

Destacam-se algumas características, mesmo que parciais, pertinentes à distribuição do padrão de cores, tais como:

- -a saussuritização dos plagioclásios e a presença de diopsídio, augita e hornblenda verde para a cor esverdeada;
- -a natureza sódica da rocha, associada com subsaturação em sílica, refletindo cor branca; quando ao item anterior, se associa a presença de minerais silicáticos do grupo de anfibólios e/ou piroxênio sódicos (arfvedsonita e riebeckita),
- - é comum a expressão de cor azulada mesoscópica, tal como ocorre com o “Azul Bahia” e o “Blue Pearl” da Escandinávia que revela orientação estrutural, indicativa de deformação, que também ocorre nos cristais de quartzo do “Sucuru” (Sumé-PB) .
- - as cores carameladas se associam também com intercrescimentos peritéticos e antiperitéticos, principalmente quando a frequência modal iguala ou supera aos 20%.
- - a zonação também é muito importante pela cor iridiscente que estimula a presença de auréolas alternadas de plagioclásio;
- - a cor amarela associada à alterações hidrotermais em minerais ferromagnesianos, geralmente biotitas, principalmente quando os feldspatos potássicos são predominantes em relação aos plagioclásios.

UTILIZAÇÃO DO ACERVO CARTOGRÁFICO

É extremamente importante o bom uso, inclusive repetidas vezes, do acervo cartográfico existente.

O conhecimento advindo desta etapa vai desde a expressão característica do padrão textural-colorimétrico de diversos tipos de rocha até a informação planialtimétrica que cada corpo apresenta. Entre os técnicos que operam em pedreiras, é reconhecida a inconveniência que oferecem ao desmonte corpos com elevações acima de trinta metros em relação ao datum do piso da bancada. Adicionalmente os blocos submetidos a maiores tensões confinantes, apresentarão mais tensões residuais a partir da criação de faces livres.

MEDEIROS (1992), vincula as imagens de satélite com tonalidade cinza com a variação na quantidade de potássio de um corpo. Portanto possibilitaria diferir campos de domínio de tonalito, monzonito e granito *sensu strictu* através de imagens do tipo supracitado.

Mapas geotectônicos, embora em escalas muito pequenas dão uma indicação do ambiente mais ou menos compressivo com que se vincule o alojamento do corpo e, portanto, permite antever um “bloco de partição mais ou menos complicado.

Dado interessante é a disposição do mergulho da foliação convergente ou divergente em relação ao centro do maciço, pois pode traduzir estrutura de alojamento do tipo “em flor” que repercute no predomínio de formas localizadamente prolata ou oblata e, portanto, na variação do bloco de partição conforme o nível de erosão alcançado.

A fotointerpretação e/ou a utilização otimizada dos mapas geológicos disponíveis também têm enorme importância na compreensão de desdobramentos na pedreira como os problemas conhecidos como “tensões residuais de campo”.

Assim identificar a estrutura em que se aloja o corpo de rocha é assaz importante porque as superfícies de partição, mesmo que invisíveis mesoscopicamente, podem ter distribuição e frequência diversas, conforme se trate de zona axial de dobramento, zona transtensiva de cisalhamento etc.

A GEOMETRIA ESTRUTURAL

O estudo dos elementos geométrico-estruturais é enfocado sobretudo com o propósito de definir o “bloco de partição”, explicitando-lhe utilidades tais como a orientação mais adequada para a pedreira (superfícies alongante, trincante e levantante) ou o planejamento de aplicação e distribuição das cargas quando se tratar do desmonte através de perfuração contínua.

Resgatar o conhecimento sobre projeção estereográfica permite o tratamento de dados inclusive a definição do bloco de partição.

A determinação de zona transtensiva mencionada no item anterior passa pelo estudo da natureza horária ou antihorária do movimento do cisalhamento. Este estudo se apoia nos marcadores tipo *sigma* ou *delta*, via de regra expressos através de enclaves ou fenocristais. Também importantes são as feições do tipo “*en echelon*” *bandas de cisalhamento* ou *fraturas T*, bem como a relação C-S. As zonas ou campos transtensivos são mais favoráveis a formação de granitos pouco deformados o que é positivo ao propósito de ornamentalidade para a rocha.

GEOTECTÔNICA, PETROGÊNESE E IDADE. INTERESSAM?

É interessante compreender que os dados geotectônicos são ainda muito interpretativos e costumam fugir à aplicabilidade prática buscada no contexto que se enfoca.

Assim, saber por exemplo que um granitóide é de ambiente compressivo ou distensivo, ou mesmo intra-placa, não pareceria ter importância prática, ao contrário do que já foi abordado no item anterior.

Contudo, também é oportuno associar que as chances de uma composição alcalina, particularmente mais sódica, têm se revelado mais freqüentes nos ambientes distensivos, intraplaca ou de ilhas oceânicas.

Outrossim, os granitóides cálcio-alcalinos, de alto potássio, embora sem ambiência geotectônica específica, têm sido encontrados mais frequentemente em zonas de colisão e ocorreriam durante os magmatismos precambrianos mais jovens, particularmente no Evento Brasileiro. Estas observações têm sido confirmadas para rochas do Fanerozóico, isto é, desde o Mesozóico (idades Andina, Alpina, Himalaia) ao Cenozóico.

Finalmente, ainda do ponto de vista de composição mineral, as rochas tonalíticas têm sido encontradas mais frequentemente nos magmatismos dos ciclos mais antigos do Proterozóico, não raro Transamazônicos.

Quanto aos elementos geométrico-estruturais, costuma-se vincular a intensidade do mergulho da foliação principal, como critério de classificação do evento tectônico, em relação ao qual esteja se referindo o alojamento (“emplacement”) da rocha magmática.

Assim, quando o mergulho é inferior a 45° costuma-se considerar o evento como tangencial e pressupõe-se o “emplacement” em nível crustal mais profundo, portanto em condições de maior plasticidade. Contrariamente, as situações em que a foliação principal tem mergulho superior a 45° têm conduzido ao pressuposto de uma tectônica transcorrente, em nível crustal variável.

Então, o estudo dos cisalhamentos passa a ter importância na interpretação do

nível crustal, através da distinção dos regimes: dúctil, frágil-dúctil ou frágil.

A configuração da relação C-S (traços das superfícies C, envelopadoras da zona de cisalhamento (“shear zone”); traços das superfícies S representando a foliação principal tipo xistosidade) e/ou o aparecimento das fraturas *de Riedel* e *P* são usualmente os critérios mais buscados para entendimento e identificação do regime de deformação dentre os supra-citados.

Adicionalmente é oportuno lembrar que existem dois tipos de cisalhamento (*puro* e *simples*) e que os elementos geométrico-estruturais do parágrafo anterior se referem ao tipo *simples*.

Os esquemas de McClay (1984) devem ser revistos para melhor entendimento.

Sobre *cisalhamento*, ainda é interessante lembrar que podem ser geradas, adjacientemente, *zonas transtensivas* ou *transpressivas*, sendo indispensável a identificação da *lineação* L_x e da *natureza horária* ou *anti-horária* do movimento para que seja definido o “emplacement” .

A definição do “emplacement” tem ainda a vantagem de previrem-se os estiramentos de fluxo, além de uma boa localização: *bordas*, *ápice* ou *interior* do corpo de rocha investigado.

Outro aspecto importante é a origem dos granitóides: cristalização fracionada, fusão parcial ou mistura/coexistência de magmas.

Com o crescimento do uso ornamental das *rochas híbridas* ou *migmatitos* a questão do parágrafo anterior passa a ter importância.

Um exemplo prático é o caso do “granito Relíquia” (Pesqueira - PE), rocha híbrida com fortes feições indicativas de origem vinculada com coexistência de magmas, cujo resultado prático é que não há solução de continuidade da resistência ao

longo do contato entre os fácies leuco e mesossomáticos.

Adicionalmente verificam-se “invaginações” recíprocas entre os fácies mineralógico-petrográficos envolvidos e ao microscópio há dominância de apatita, acessório cedo-formado do “fácies” mesossomático com textura acicular.

Exemplo no sentido oposto é o litotipo escuro que vem sendo pesquisado em Gravatá-PE, similar ao Preto Pernambuco de Toritama-PE.

Aquí é verificado mais claramente que o leucossoma utiliza fratura descontínua do mesossoma.

Para suspeitar-se de algum tipo de origem de formação de uma suíte de rochas podem ser usados os diagramas petroquímicos e sua correlação com os dados de campo.

Nos diagramas tipo Harker:

- a *cristalização fracionada* é indicada pelo alinhamento contínuo dos tipos petrográficos, na ordem tal que o mais jovem e o mais antigo estão nas extremidades;
- a *mistura/ coexistência de magmas* ou a *fusão parcial* fazem com que os litotipos mais tardi-cristalizados se situem intermediariamente na linha de correlação.

Entretanto a *fusão parcial* tem sido mais frequentemente registrada em granitóides *tipo S*, os quais revelam maior abundância de minerais acessórios caracteristicamente mais aluminosos tais como cordierita, granada e muscovita.

Convém lembrar a classificação de Ishihara (1981) que vincula conteúdo maior em ilmenita, ao invés de magnetita, como indicativo de ser um granitóide paraderivado.

É oportuno citar que o granito cearense “Branco Cristal”, um tipo de comercialização mais lucrativa, é considerado como *granito S*. Entretanto esta informação deve funcionar como alerta para os possíveis problemas de desqualificação em parte da pedreira.

Outrossim, o conteúdo em quartzo deixa perceber resquícios da sua origem sedimentogênica, como a homogeneidade granulométrica. Via de regra, têm se revelado rochas com alta absorção de umidade, talvez vinculada com a textura e microfissuras do quartzo.

No caso de rochas híbridas, cuja formação envolve *fusão parcial* os enclaves têm aspecto de clastos, o que lhes confere solução de continuidade na resistência mecânica, principalmente à tração e à compressão, nos contatos entre os diferentes fácies.

OS MAPEAMENTOS DE DETALHE

Os mapas anexos aos trabalhos dos cursos de graduação em geologia e pós-graduação em geociências têm representado excelente fonte para consulta quando se buscam corpos com potencial ornamentalidade.

No último decênio, principalmente, os programas de pós-graduação têm executado várias teses pertinentes ao campo das rochas magmáticas, aproveitáveis, portanto, aos propósitos desta atividade.

Tratam-se de trabalhos de detalhamento de facies petrográficas, os quais, não raro se fazem acompanhar de análises químicas e petrográficas de detalhe, pois buscam esclarecimentos petrológicos e petrogenéticos.

Mesmo na escala de região, mapas vinculados a trabalhos de origem “acadêmica” podem dar sua contribuição, desde que sejam entendidos. Apresenta-se o exemplo de

Itaporanga-PB, a partir de Mariano, Sial e Conceição (1996).

OS MARCADORES DE DEFORMAÇÃO

Os enclaves têm utilidade para a compreensão dos campos de anisotropia do corpo: enclaves orientados indicam o fluxo magmático; os enclaves horizontais (oblatos) indicam situação apical do corpo em contraposição àqueles verticais e alongados (prolatos) que indicam situação lateral a periférica no corpo.

Em algumas situações os enclaves ricos em minerais máficos, escuros, ferro-magnesianos, têm importância econômica imediata, pois sendo geralmente ricos em biotitas e/ou anfibólios, facilitam a perfuração, mas não ajudam na boa qualificação da brita, o que é facilmente verificado através de ensaios tipo *los angeles*.

Cita-se um exemplo de mapeamento dos fácies petrográficas de uma pedreira em Jaboatão dos Guararapes, na área do Recife Metropolitano. É possível, então, compreender a distribuição dos diferentes tipos petrográficos e sua participação no produto final, seja brita ou rocha ornamental.

RESUMO DO ENFOQUE DA PESQUISA DE ROCHA ORNAMENTAL

Em princípio resumem-se os objetivos de pesquisa de rochas ornamentais:

- Situação geográfica, mais adequada ao uso do GPS, cuja aproximação máxima ainda fica compatível com as formas e dimensões de ocorrência;
- Cadastramento ou pesquisa bibliográfica de rochas para fins ornamentais, evitando que maciços ou matacões rochosos sejam desperdiçados e/ou usados inadequadamente;
- Estudo do posicionamento dos corpos, caracterizando litotipos e sua interrelação, elementos geométrico-

estruturais, formas e definição de *bloco de partição* para melhor lavar o corpo, isto é, para melhor definir as superfícies *alongante, levantante e trincante*;

- Amostragem de bloquetes cúbicos (cerca de 0,4m de aresta) e preparação de chapas polidas e corpos de prova para ensaios de laboratório;
- Estudo de texturas e microtexturas, caracterizando o efeito-matriz, em relação à alterabilidade, deformação versus recuperação estrutural, alteração, manchas, enclaves, veios etc, no propósito de apontar a aplicação mais adequada, somente confirmada através dos ensaios geo-mecânicos;
- Estudo das propriedades geomecânicas tais como: índices físicos (porosidade aparente e absorção d'água, peso específico), dureza, resistências (à tração, à compressão, à abrasão, ao choque), alterabilidade superficial, dilatação térmica, gelo e degelo, lustro, "fechamento" etc.

Inicialmente é usada a base cartográfica planialtimétrica-geológica e a verificação de enquadramento da rocha dentro de critérios estético-decorativos, afora a susceptibilidade de fornecer blocos da ordem de 3,0 x 1,6 x 1,8 m, equivalente a cerca de 6,0 m³.

Atendidas estas pré-condições haverá disponibilidade de cerca de 40 (quarenta) chapas de 3,0 x 1,6 x 0,02m, o equivalente a 30 m²/m³.

Considerando a estimativa de custo de produção da ordem de R\$20,00 / m² (?), se a rocha tiver competitividade comercial deverá cobrir os custos de pesquisa, incluindo extração e preparação do bloco e preparação das chapas.

Para testar o comportamento na forma de chapas polidas flamejadas ou apicoadas deverão ser retirados blocos cúbicos de 0,4 m de aresta, os quais servirão para a produção

de chapas quadráticas de 0,3m de lado e espessura da ordem de 1,0 a 1,5 cm.

Ressalve-se a dificuldade para obtenção das referidas chapas, salvo em unidade que utilizem o sistema MONTGRAN. Exemplo interessante é a unidade que funciona em Campina Grande-PB, em que já foi alcançada a espessura de 0,5cm por chapa de cerca 0,30 x 0,30m

Dos blocos cúbicos de cerca de 0,4m de aresta deverão ser preparados os corpos de prova, necessários para a execução dos testes de laboratório para determinação dos parâmetros geomecânicos.

Os testes de petrografia microscópica são a base do estudo textural e apontam a utilização mais adequada, além de ajudarem a compreender os resultados de ensaios do tipo absorção d'água, dureza anômala em relação àquela esperada, ou de problemas com "fechamento" do polimento e ainda alterabilidade.

Quando a rocha já é explicitamente anisotrópica é oportuno definirem-se as orientações dos elementos geométrico-estruturais envolvidos para determinação do *bloco de partição* natural.

Quando houver comportamento isotrópico aparente e a área de ocorrência for grande, será interessante proceder-se o estudo de anisotropia de susceptibilidade magnética para entender-se o "emplacem" do corpo e portanto as suas orientações potenciais.

Salvo quando o aspecto comercialização justificar, não raro, na prática já são descartados em função dos teares convencionais os corpos de rocha que:

- apresentem frequência de fraturas igual ou superior a 2/m;
- tenham enclaves (chamados de "mulas") cujas dimensões ultrapassem ordem de decímetros.

Assim evitar-se-á a perda com desmonte e remoção de blocos inadequados.

BREVE COMENTÁRIO SOBRE APLICAÇÃO DO BLOCO DE PARTIÇÃO

Os corpos rochosos estão em equilíbrio natural enquanto a sua "massa inercial" é mantida. O intemperismo forma os matacões como artifício natural de manter novos "limites volumétricos" para a "massa inercial" supracitada. Portanto as forças de atrito interno e de coesão sòmente são capazes de evitar a fragmentação do corpo (bloco) se a natureza esculpir os limites segundo a orientação e razão natural entre as dimensões do bloco de partição. É bom lembrar que coesão e ângulo de atrito interno são parâmetros específicos do material.

Do exposto, a trabalhabilidade de um bloco de rocha que sofreu intervenção antrópica (abertura de uma pedreira, por exemplo), está diretamente vinculada com a razão entre a altura do bloco e a sua largura ou profundidade, dimensões que vão compor a face trincante do bloco, uma vez que o comprimento do bloco tenha sido pré-estabelecido (3,0 metros por conveniência ao transporte e às dimensões dos teares convencionais etc).

O conceito de **esbeltez de uma coluna** (alongamento de uma peça) ilustra bem a consequência ou desdobramento do desrespeito ao cumprimento da razão supra. Considerando que a área de apoio é reduzida em relação às demais seções, resulta aumentada a carga superficial $P = F/A$ (N/m²), medida em Pascal eo esforço ao qual a peça está submetida. Além da tensão normal (no caso P) há a ação de um momento que tende a "dobrar a peça", pois é muito difícil que:

- a carga seja rigorosamente normal;
- a carga esteja aplicada no ponto exato contido no eixo de equilíbrio.

Similar é o que acontece com a chapa e, em ambas as peças, qualquer mínimo desvio do ponto de aplicação da carga produz a deformação por cisalhamento simples, isto é, com componente horizontal responsável por rotação.

Do exposto parece razoável pensar que as tensões residuais são estimuladas:

- - pelo desmonte de blocos cujo “volume de partição natural” não tenha sido considerado ou investigado;
- - pela utilização de método de desmonte que não estimule a máxima liberação das tensões de confinamento em taxas razoáveis.

Considere-se que a atividade de serrar o bloco e polir as chapas consiste em atrito contínuo produzindo portanto ondas elásticas de baixa velocidade de propagação.

Portanto, talvez seja oportuno advertir-se de que o desmonte por fio diamantado **deve proporcionar maior perda nas chapas**, uma vez que as tensões residuais não foram previamente aliviadas, ao contrário do que ocorre quando o desmonte se dá por pré-corte.

Entretanto, o pré-corte apresenta o inconveniente dano na periferia do bloco pela ação das ondas de choque.

O método utilizando o “jet flame” também danifica parte da periferia do bloco e parece não aliviar previamente as tensões.

DETERMINAÇÃO DA ANISOTROPIA DE UM CORPO

Do projeto FINEP/UFPE (1996), extrai-se o texto a seguir, de autoria do geólogo-geofísico Dr Paulo de Barros Correia, outro integrante do Grupo de Pesquisas de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais da UFPE:

“Nos últimos anos tem havido um crescente interesse nos estudos magnéticos em rochas graníticas, seja tratando de sua classificação através da mineralogia magnética associada à susceptibilidade (Ishihara, 1981), seja tratando do estudo paleomagnético para obtenção de direções de remanescência (Hattinh, 1990).

A maior atenção, entretanto, tem sido voltada aos aspectos estruturais relacionados à colocação dos corpos graníticos evidenciados pela anisotropia de susceptibilidade magnética (Ellwood & Whitney, 1980; Hrouda, 1980; Bouchez et al., 1990; Archanjo, 1993; Olivier & Archanjo, 1994; Barros Correia, 1994).

Os estudos de anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) em campo fraco estão sendo de largo interesse, devido ao seu potencial nos campos da sedimentologia, processos ígneos e tectono-estruturais. O fluxo magmático e a deformação de corpos plásticos altamente viscosos interferem nos elipsóides de ASM formando a trama magnética definida pela orientação das partículas magnéticas disseminadas na matriz (Steacey, 1960; Uyeda et al., 1963; Hargraves et al., 1991).”

A determinação das estruturas magnéticas e sua comparação com as estruturas magmáticas são de fundamental importância para a elaboração de um modelo de “emplacement” dos corpos graníticos.

Particularmente, com relação às rochas ornamentais é meta que se obtenham em corpos aparentemente isotrópicos a caracterização do “bloco de partição” e portanto, melhor otimização dos trabalhos de lavra.

RELEVÂNCIA DO ESTUDO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

A exploração das rochas ornamentais vem se constituindo numa atividade promissora e crescente, tanto do ponto de vista econômico quanto social, repetindo o forte poder germinador que caracteriza a atividade de mineração.

Contudo, a expectativa de afirmação e longevidade desta atividade tem esbarrado em diversos obstáculos, tais como:

- 1- problemas na área fiscal, uma vez que as diferenciadas taxas de ICMS entre os Estados produtores (BA, ES, CE, PB e PE) e os seus desdobramentos tornam difícil a competitividade;
- 2- problemas referentes à carência de mão-de-obra especializada;
- 3- falta de um centro aglutinador e redistribuidor de conhecimentos específicos tais como:
 - caracterização geológico-geofísica dos corpos, priorizando a sua geometria estrutural com o propósito de otimizar a atividade da lavra;
 - definição de textura e padrões de tipos de rocha e a sua correspondência com as propriedades geomecânicas;

A relevância de qualquer projeto de estudo neste sentido estará certamente em preencher a lacuna caracterizada pelas referidas dificuldades.

É oportuno lembrar que, num passado recente, dezenas de teares G2 foram

implantados no Nordeste, 15 dos quais somente em Pernambuco, do que se antevia a expectativa de produção de 7.500 m³ ou 26.000 m² por mês.

A solução de continuidade precisa ser corrigida pois sempre há necessidade de produtos diferenciados e com controle de qualidade para obtenção de sucesso mercadológico.

Hoje, as técnicas de resinação e telamento praticamente tornam possível a preparação de chapas de qualquer tipo petrográfico que interesse ao mercado. Entretanto a compreensão do bloco de partição e a identificação de ninchos com litotipos mais susceptíveis de exploração e aceitação certamente racionalizariam mais a atividade permitindo-lhe cumprir o seu papel social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FELTRE, Ricardo - 1997. Fundamentos da Química. Capítulo 14: Termoquímica pp 307-334. Editora Moderna.
- EMC - Rochas de Qualidade: Granitos, Mármore e Pedras de Qualidade. EMC Editores Associados. Publicação Trimestral. São Paulo. Brasil.
- SIROR - Rochas & Equipamentos. Associação Industrial Portuguesa. Feira Internacional de Lisboa. Salão Internacional de Rochas Ornamentais. Publicação Trimestral.
- WORLD Stone Industry - 1993. Report.

ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: PROCEDIMENTOS PARA O SEU CONHECIMENTO E SUA CONSERVAÇÃO A PARTIR DE ESTUDOS DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS RECENTES

Antônio Gilberto Costa

LABTECRochasCPMTC/IGCUFG; agcosta@netuno.lcc.ufmg.br; Avenida Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha, CEP Belo Horizonte MG

RESUMO

A opção pela aplicação de materiais pétreos, em princípio considerados como sendo materiais de alta durabilidade, deve ser precedida por uma série de providências envolvendo entre outras medidas, a realização de ensaios tecnológicos visando um completo conhecimento das propriedades desses materiais. Além disso, para uma correta avaliação sobre o comportamento das rochas frente aos diferentes tipos de aplicações, solicitações e à grande diversidade de condições e tipos de ambientes, devem ser realizados estudos de alterabilidade. Assim, pesquisas em andamento no LABTECRochas do CPMTC/IGC-UFMG, envolvendo geólogos, arquitetos e químicos, visam o levantamento de procedimentos não só na área da caracterização tecnológica, mas também na área dos métodos conservativos, buscando maneiras de se poder frear o lento, porém inevitável processo de deterioração dos materiais pétreos. Nestas últimas, as edificações já existentes desempenham um papel de laboratório natural para a observação e estudo das deteriorações ao longo do tempo. Esses estudos, com levantamento de detalhe, descrição e caracterização de rochas e de suas patologias, envolvem a observação de aplicações de rochas em construções recentes e em monumentos pétreos dos séculos XVIII e XIX localizados em cidades brasileiras das regiões: sudeste

(Belo Horizonte, Ouro Preto, Mariana, Congonhas do Campo, Paraty, Rio de Janeiro etc.), nordeste (Recife, Olinda, João Pessoa e Salvador) e norte (Belém do Pará). Esteatitos, serpentinitos, quartzitos, arenitos, xistos, calcários e mármore têm sido estudados com maior ênfase, sem no entanto perder-se de vista o grande conjunto de rochas ígneas, isotrópicas ou movimentadas e de composição variável segundo os termos granítico, alcalino e básico. A partir da escolha dos monumentos ou projetos arquitetônicos, procede-se ao levantamento dos materiais empregados e das suas áreas de ocorrência. Após coleta de amostras dos materiais escolhidos, estes têm suas caracterizações físico-mecânicas estabelecidas (índices físicos, resistência à flexão, à compressão, ao desgaste, dilatação térmica etc.). Para uma melhor avaliação do estado de conservação dessas rochas com aplicação ornamental e ou de revestimento, procede-se então à realização de diversos ensaios de alterabilidade, conduzidos em laboratório. Com a realização destes estudos e com a montagem de um banco de dados com informações sobre as diferentes composições mineralógicas, as texturas, as estruturas e os graus de alteração possíveis, pode-se evitar a aplicação de materiais inadequados, com redução das manifestações patológicas tão frequentes em pisos e fachadas de monumentos e edifícios construídos recentemente ou não.

INTRODUÇÃO

Por razões diversas, que passam desde a ausência local de materiais apropriados, até a falta de pessoal especializado, boa parte do patrimônio histórico construído no Brasil foi erguida sem a utilização de rochas, seja como elementos decorativos ou estruturais e só recentemente esses materiais foram incorporados de forma mais significativa aos projetos arquitetônicos. No entanto, alguns estados destacam-se por seu patrimônio histórico construído e por suas reservas em rochas com aplicação ornamental ou de revestimento. Minas Gerais é um destes centros com grande produção de material com aplicação ornamental, concentrando um valioso patrimônio construído. O estado destaca-se por suas reservas de rochas quartzofeldspáticas, descritas como "granitos movimentados ou não", mostrando estruturação gnáissica ou padrão isotrópico, respectivamente e também por ser um grande produtor de outros tipos pétreos ainda pouco estudados sob a ótica ornamental, como os esteatitos, os serpentinitos, os xistos, os quartzitos, as ardósias, os mármore etc. Em diversos estados do norte e do nordeste, tais como Pernambuco, Bahia e Paraíba, encontra-se também valioso conjunto de monumentos construídos com a utilização de outros materiais, tais como arenitos, calcários, que também merecem estudo mais detalhado.

Apesar desta situação privilegiada e dos avanços alcançados pelos inúmeros centros de pesquisa na área da caracterização tecnológica de rochas com aplicação industrial, espalhados pelo país, os estudos existentes sobre o tema são ainda fragmentários. Pesquisas tratando das relações entre alterabilidade das rochas e os perfis e condições de extração, beneficiamento e aplicação destes materiais, ou relacionando o grau de alterabilidade com as características tecnológicas dos mesmos e as

condições ambientais sob as quais estes foram aplicados, só muito recentemente começaram a ser desenvolvidas.

Enquanto esta consciência a cerca da necessidade imprescindível do desenvolvimento destes estudos, só recentemente vem se tornando realidade em nosso país, a nível internacional já se encontram constituídos vários grupos de trabalho neste domínio. Através da realização de cursos, congressos (International Seminar -University Postgraduate Curricula for Conservation Scientists/Bologna 1999) e dos intercâmbios internacionais de pesquisa, com envolvimento de um número cada vez maior de especialistas de diversas áreas (micologia, geologia, química, arquitetura etc.), vêm sendo determinados procedimentos diversos, seja na área da caracterização tecnológica, seja na área dos métodos conservativos mais recomendáveis, para frear o lento, porém inevitável processo de deterioração dos materiais pétreos. Em muitas outras partes do mundo, a Geologia tem contribuído nestes estudos, com ênfase para os relacionados com as deteriorações de rochas em monumentos, e que aqui podem ser citadas como exemplos as inúmeras pesquisas conduzidas junto ao Instituto Superior Técnico de Lisboa, ao Instituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, em Florença, assim como o conteúdo geológico de cursos como o do Corso di laurea in Tecnologie per la conservazione e il restauro dei beni culturali da Universidade de Bologna, dentre muitos outros.

PESQUISA NAS ÁREAS DA APLICAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE MATERIAIS PÉTREOS

Esforços têm sido concentrados na direção da proposição de metodologia de pesquisa voltada para o estudo e avaliação da susceptibilidade de rochas

com aplicação ornamental, buscando ainda a identificação de processos de conservação de materiais pétreos à deterioração.

No âmbito das pesquisas no LABTECRochas do CPMTC/IGC-UFMG, vêm sendo estudados tipos de rochas utilizadas na construção de edificações, quer como elementos decorativos, estruturantes ou artesanais, com ênfase para esteatitos, serpentinitos, quartzitos, arenitos, xistos, mármore e calcários. A partir do levantamento/mapeamento de ocorrências em lavra ou não, estes materiais têm suas caracterizações físico-mecânicas estabelecidas, com a criação de um banco de dados que poderá subsidiar um melhor aproveitamento destes materiais em aplicações já existentes e propor alternativas para novas aplicações, de acordo com sua mineralogia, textura, estrutura e grau de alteração.

Para uma melhor avaliação do estado de conservação destes tipos pétreos com aplicação ornamental e possibilitar a viabilização de propostas mais eficientes de intervenção em edificações civis atuais, estas pesquisas têm seu andamento em parte relacionado com o estudo de monumentos pétreos. O estudo das patologias nas edificações já existentes deve desempenhar um papel de laboratório natural das deteriorações das rochas ao longo do tempo. Tais estudos associados aos resultados de ensaios de alterabilidade em laboratório visam fornecer elementos que deverão permitir atender às especificações, mas de forma menos empírica, e, conseqüentemente, mais eficaz, segura e econômica, evitando insatisfações e/ou reclamações de consumidores destes bens minerais e uma imagem negativa para as empresas projetistas e fornecedoras desses materiais.

A importância da pesquisa a cerca

dos processos de deterioração envolvendo as rochas aplicadas em monumentos pode ser ainda justificada, pois do ponto de vista tecnológico as rochas devem ser entendidas como corpos dinâmicos que apresentam respostas diferentes, em função do ambiente em que estão aplicadas, das condições a que estão sujeitas e do tempo de exposição. Estas pesquisa envolvem uma avaliação da extensão de atuação dos processos de intemperismo, que serão determinantes ao longo das, às vezes, complexas histórias de alguns destes monumentos. Entretanto, muitos fenômenos de intemperismo podem ser elucidados, primeiramente, considerando-se as propriedades da rocha em questão, e, subseqüentemente, a partir do estudo de seus típicos comportamentos sob várias condições de exposição.

A elaboração de diagnósticos sobre o estado de conservação de monumentos em esteatito/pedra-sabão, quartzito, xisto, mármore, serpentinito, ou qualquer outro material pétreo, requer um conhecimento científico sobre os agentes de deterioração e suas causas. Assim, além da necessária realização de ensaios em corpos de prova e em áreas testes, que permitem a definição da escolha dos materiais e métodos de tratamento mais adequados para a conservação destes bens, há a necessidade de se recorrer a ensaios de envelhecimento acelerado, desenvolvidos em laboratório. Dessa forma, é que enfatiza-se a importância de realizar tais investigações também nas edificações construídas de rochas, sem perder de vista a pesquisa a ser desenvolvida nas pedreiras de onde estas rochas foram extraídas.

Problemas relacionados com a aplicação das rochas ornamentais, resultam não só da falta de conhecimento das características intrínsecas do material, mas também

daquelas induzidas pelos métodos de lavras e processos de beneficiamento, bem como pela aplicação ou uso/adequação em situações que podem acelerar as alterações. Mais uma vez encontra-se justificativa seja para o estudo envolvendo os monumentos, seja para a realização de ensaios mencionados, bem como a experimentação e proposição de novos procedimentos, que são do interesse não apenas de pesquisadores e produtores de rochas ornamentais, mas também dos arquitetos, dos responsáveis pelo patrimônio histórico e dos engenheiros projetistas e especificadores, que na maioria das vezes não conhecem as características tecnológicas dos materiais com os quais estão trabalhando e, conseqüentemente, sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo. Assim, através de análises das características dos materiais, seja nas condições de suas áreas de extração até nas condições ambientais em que os revestimentos estarão sujeitos, pode-se reunir conjunto valioso de subsídios voltados para a seleção daqueles tipos que melhor se adequem aos requisitos de projetos na construção civil.

AS ROCHAS NOS MONUMENTOS DO BRASIL DOS SÉCULOS XVIII E XIX

A partir do levantamento dos materiais empregados na construção de monumentos pétreos brasileiros, constata-se que no passado, calcários, mármores, esteatitos, serpentinitos, quartzitos, arenitos e xistos diversos foram amplamente utilizados, seja na estruturação, seja no revestimento de igrejas, palácios, marcos, chafarizes, mausoléus etc. Apesar das volumosas ocorrências de rochas graníticas, seja em algumas regiões costeiras, seja no interior do Brasil, esses materiais foram pouco empregados. Da observação e descrição de parte desses monumentos (Fig. 1), localizados em algumas cidades

das regiões norte, nordeste e sudeste do Brasil, com ênfase para Minas Gerais, tem sido possível a percepção de patologias e uma quantificação das alterações das rochas, considerando dentre outros fatores, os seus diferentes períodos de exposição, entre 300 e 350 anos e variadas condições climáticas.

Calcários e Mármore

Apesar de inadequados para algumas aplicações, calcários e mármores foram e continuam sendo muito usados em revestimentos externos e internos de grandes conjuntos arquitetônicos em cidades litorâneas do nordeste ou ainda em algumas das principais cidades do norte do Brasil. A utilização destes materiais em Minas Gerais nunca foi expressiva em termos do seu patrimônio construído. Atualmente têm sido aplicados com maior frequência e de forma muito indiscriminada. No passado, esses materiais procediam em grande parte de Portugal e no tempo em que o Brasil permaneceu colônia, parte foi transportada como lastro de navios, que em retorno à Europa levavam bens minerais ou outros, da colônia para a metrópole. Os melhores exemplos destas aplicações podem ser observados nas igrejas de Salvador, na Bahia; nas de Olinda e Recife, em Pernambuco; nos conventos e outros monumentos de João Pessoa, na Paraíba; ou ainda em Belém do Pará, com destaque para os mausoléus do Cemitério da Soledade. Na Minas Gerais do século XIX merecem destaque, dentre outras, as raras aplicações em igrejas de Ouro Preto e as aplicações no Cemitério da Negra da Rocinha, nos arredores de Matias Barbosa, região de Juiz de Fora.



Figura 1: Construções históricas brasileiras, seus materiais e alguns exemplos de deteriorações. Acima: (a) Escultura do adro da igreja do Bom Jesus do Matosinhos em Congonhas do Campo/MG; calcita -clorita esteatito; alteração de cor, manchas e cavidades por dissolução de carbonatos; (b) Detalhe do Museu de Arte Sacra de Mariana, Minas Gerais; granada -cianita -mica xisto e quartzito; erosão diferencial; (c) Construção em Paraty/RJ; granitos e gnaisses; hidrólise, arenização e oxidação; Abaixo (d) Portada da igreja do Matosinhos em Ouro Preto; ilmenita -sericita -quartzo xisto; oxidação; (e) Portada em Paraty; granito; esfoliação e deslocamento; (f) Portada da igreja matriz de Cachoeira do Campo/MG; granito; oxidação.

Dos materiais portugueses que chegaram ao Brasil entre os séculos XVIII e XIX, destacam-se os calcários e mármore, brancos, amarelos ou avermelhados e ainda brechas calcárias. Dos cristalinos encontram-se aqueles denominados encarnação e lioz, explorados desde há muito tempo nos arredores de Lisboa (Aires-Barros 2001) e largamente usados nas construções baianas. A brecha da Arrábida,

proveniente principalmente do Calhariz e encontrada em menor volume, mas em aplicações muito detalhadas, pode igualmente ser observada, seja em Salvador, seja em Belém do Pará. Para calcários de procedência local podem ser citados aqueles da região de João Pessoa que foram utilizados em construções antigas em João Pessoa, mas também em Olinda ou mesmo Recife, em Pernambuco. Atualmente, a

produção destes materiais em Minas Gerais pode ser considerada decrescente. O potencial para a produção está associado às unidades geológicas do Grupo Bambuí, dos Grupos Piracicaba e Itabira (Super Grupo Minas) e do Complexo Paraíba do Sul dentre outros. Toda a produção de mármore é essencialmente comercializada no mercado interno, com algumas exceções, como o tipo Aurora Pérola, que enquanto foi comercializado, alcançou colocação garantida no mercado externo.

Esteatitos e Serpentinóis

Do conjunto das rochas de derivação ultramáfica, registra-se a utilização dos esteatitos/pedra sabão, da pedra talco, dos serpentinitos e dos xistos verdes, predominantemente em construções localizadas em Minas Gerais. Desde o período colonial todas estas variedades, com ênfase para a pedra-sabão/esteatitos, vêm sendo utilizadas artesanalmente para a fabricação de esculturas, peças de ornamentação e de utensílios diversos, como pode ser visto em cidades mineiras como Ouro Preto Mariana e em Congonhas do Campo, onde destacam-se as obras em pedra-sabão do grande mestre Aleijadinho, que atraem turistas do mundo inteiro. Na atualidade, os trabalhos em pedra-sabão vão desde utensílios, como as “painéis de pedra” até peças artísticas de apurado bom gosto, que são vendidas no comércio local e também exportadas. Registra-se um aumento das exportações de peças padronizadas de lareiras e fornos para o mercado europeu, sobretudo o alemão, seja para uso doméstico ou industrial. Além do uso como rocha ornamental e como matéria-prima para artesanato, os esteatitos e serpentinitos apresentam outros usos e aplicações industriais, absorvendo considerável quantidade de mão-de-obra, como, por exemplo, na produção de talco cosmético, fabricação

de azulejos, pisos, refratários elétricos etc.

A exploração de esteatitos para arte estatuária, artesanatos, peças de lareira etc, é registrada nas proximidades de Cachoeira do Campo, Santa Rita, Ouro Preto, Ouro Branco, Furquim, Santa Bárbara do Tugúrio, Acaiaca e Mariana, compondo variados tipos comerciais negociados nos mercados interno e externo.

Em muitos dos monumentos mineiros verifica-se a aplicação do serpentinito. Apesar disso, a produção de serpentinitos lavrados em Minas Gerais, considerando o volume de ocorrências no estado, é pouco expressiva frente às demais rochas. Existe a comercialização de um material serpentinitico designado Rosso Sacramento, lavrado na região de Araxá e do material extraído na lavra do Viriato, na região de Rio Acima, que recebeu a denominação comercial de Verde Boiadeiro. No município de Ouro Branco encontram-se inúmeras ocorrências, cujos processos de lavra encontram-se em parte paralisados, assim como na região de Ipanema, no leste do estado. No município de Conselheiro Lafaiete, ao sul do Quadrilátero Ferrífero, a lavra de serpentinitos foi retomada.

Quartzitos e Arenitos

Os quartzitos foram e ainda são largamente aplicados em conjuntos arquitetônicos em Minas Gerais e em outras partes do país. Pode-se mesmo afirmar que nas cidades históricas de Minas não se encontra quase nenhuma construção que não tenha alguma aplicação de quartzitos. De modo geral mostram grandes variações em termos de coloração (amarela, rósea etc.), em função dos seus diferentes conteúdos mineralógicos e de seus respectivos graus de oxidação. Dependendo da associação mineralógica, que além do

quartzo pode conter: sericita, muscovita, cianita, sillimanita, turmalina e óxidos e ainda das texturas, granoblástica ou granolepidoblástica, podem ser freqüentes as esfoliações ou escamações. Estas alterações nos quartzitos são resultantes da ação de agentes intempéricos, considerando ainda os efeitos em consequência da absorção, desenvolvimento de cristalização salina, hidrólise de suas micas e outros. Em Minas Gerais os quartzitos estão associados a seqüências metassedimentares do Proterozóico Superior, destacando-se unidades geológicas como a Araxá, Canastra, São João Del Rei/Andrelândia e Espinhaço. O principal centro produtor localiza-se na região de São Tomé das Letras, tendo-se as demais ocorrências assinaladas em Alvinópolis, Luminárias, Baependi, Conceição do Rio Verde, Ouro Preto e Diamantina. Registra-se expressiva qualificação comercial e crescimento das exportações dos quartzitos São Tomé, sobretudo para as variedades menos friáveis. As designações comerciais são aplicadas sem qualquer rigor técnico, anotando-se Quartzito São Tomé, Carrancas, Carranquinhas, Luminárias, Rio Verde, Ouro Preto, entre outras.

Os arenitos, menos coesos e resistentes que os quartzitos, apresentado altos valores para absorção d'água e porosidade, foram amplamente empregados na construção de inúmeros monumentos na região nordeste do Brasil, como na igreja de São Pedro dos Cléricos de Recife, em igrejas de Olinda e em outras cidades nordestinas localizadas na costa ou no interior. Nestes projetos, os diferentes tipos de arenitos empregados aparecem ou como elementos decorativos, ou como elementos estruturais.

Xistos

Os xistos, como os clorita xistos ou os sericita-quartzo xistos foram muito

utilizados em construções setecentistas e oitocentistas em Minas Gerais, como nas das regiões de Diamantina, do Serro, de Conceição do Mato Dentro, de Santa Bárbara e do Caraça. Os xistos granadíferos, contendo cianita ou não, tão comuns nas regiões de Mariana e Ouro Preto, foram com freqüência aplicados em revestimentos diversos nesta região de Minas Gerais e são freqüentemente confundidos com os esteatitos. Xistos contendo anfíbólios, podem ser observados nas construções das regiões de Cachoeira do Campo e São Bartolomeu. Estes materiais há muito não são empregados na construção civil. Apesar da larga utilização no passado, não se tem qualquer registro sobre a localização de algumas de suas antigas áreas de lavra, o que pode comprometer o trabalho de recomposição do patrimônio.

OS PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Para atender aos objetivos da pesquisa envolvendo o estudo de materiais tais como: esteatitos, serpentinitos, xistos, mármore, arenitos, quartzitos e granitos, utilizados em projetos arquitetônicos, disponíveis nos mercados e comercializados, quer na forma de blocos ou como produtos acabados e semi-acabados, é preciso estabelecer um programa que contemple a localização das áreas de ocorrência das rochas utilizadas, a adoção de metodologia adequada para o levantamento das características tecnológicas desses materiais (Fig. 2a) e a avaliação do quadro de deterioração dos mesmos a partir do estudo de monumentos e de processos induzidos em laboratório (Fig.02b). Estes procedimentos devem fornecer importantes informações e contribuir com a manutenção do histórico e com a prevenção em termos de usos futuros. Aqui vale lembrar, como exemplo, a

situação de construções em Minas Gerais onde houve a aplicação de esteatitos. Do início de sua extração até os dias de hoje, estas aplicações apresentam graves problemas causados pela falta de seleção destes materiais, que com conteúdos mineralógicos diferentes, apresentam diferentes propriedades físico-mecânicas e resistências aos processos de alteração. Um bom exemplo é o conjunto de profetas expostos em Congonhas do Campo, Minas Gerais, que foram esculpidos a partir de esteatitos com grande variação mineralógica.

A partir das atividades de pesquisa em andamento apresenta-se uma proposta de metodologia para o estudo da alterabilidade de rochas com aplicação ornamental, que envolve as seguintes etapas:

1ª etapa -De campo:

Levantamento com registro fotográfico e caracterização macroscópica dos tipos litológicos (arenitos, quartzitos, esteatitos, serpentinitos, xistos, calcários etc.) utilizados na construção de edificações, incluindo as históricas, como pode ser visto na maioria das edificações históricas em Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba etc., ou artesanalmente empregados para a fabricação de esculturas e peças de ornamentação;

Avaliação, através de intervenções não destrutivas, do grau de deterioração com identificação, cartografia e registro fotográfico dos principais tipos de alterações observados nas rochas de monumentos (desplacamentos, alterações de cores e texturas originais por oxidação e hidratação com perda de massa, concentrações de populações de fungos, modelamentos por abrasão

mecânica e ação da chuva e dos ventos, manchas e crostas, eflorescências, microfissuras etc.) visando avaliar o estado atual desses materiais e estudo do comportamento dos tipos escolhidos, quando submetidos a diferentes condições climáticas e de utilização, considerando o regime de chuvas, as direções dos ventos, o grau e tipo de contaminação atmosférica (SO₂, CO₂ etc.);

Levantamento geológico de campo para localização das áreas de ocorrência das rochas identificadas, tendo como objetivo o cadastramento das frentes de lavra e das variedades comerciais produzidas, com documentação fotográfica e coleta de amostras para posterior estudo laboratorial (caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade acelerada).

2ª etapa: De laboratório:

Caracterização das propriedades físico-mecânicas (descrição petrográfica, resistências à flexão e à compressão, desgaste, dilatação térmica linear, índices físicos etc.) das rochas escolhidas como objeto de estudo, com diferenciação de variações, através da utilização de critérios tais como: coloração, texturas, estruturas, proporções mineralógicas e propriedades físicas;

Caracterização de corpos de prova impermeabilizados com uma película de produtos químicos no estado líquido. Este procedimento permitirá avaliar as mudanças e variações ocorridas nas características físico-químicas e mecânicas das rochas quando da aplicação dos produtos hidro-óleo-repelentes e o desempenho de produtos químicos impermeabilizantes, considerando-se as relações entre os parâmetros petrográficos e físicos das rochas. Os

produtos impermeabilizantes hidro-óleo-repelentes poderão ser selecionados de acordo com a oferta do mercado e com base em informações cedidas por profissionais da área;

Realização de ensaios de envelhecimento acelerado através de testes de alterabilidade em laboratório com simulação de condições de atmosfera poluída, chuva ácida etc. Estes ensaios compreendem o desenvolvimento de procedimentos envolvendo processos simulados de lixiviação contínua e estática, com avaliação de perda de massa. Com a realização destes ensaios pode-se avaliar a influência da poluição ambiental e a influência dos processos de intemperismo nos processos de deterioração;

Análise previewal do desempenho de produtos impermeabilizantes em rochas submetidas a tratamentos superficiais com esses materiais, simulando-se as condições reais que ocorrem durante a sua utilização (umedecimento, ataque químico, manchamento, abrasão etc), com adaptação de metodologias para avaliação e manutenção dos tratamentos de conservação de

rochas;

Correlações dos indices físicos e de outros parâmetros tecnológicos com as características mineralógicas, texturais e estruturais, objetivando uma avaliação qualitativa dessas características e a susceptibilidade das rochas em relação aos agentes de alteração a que são submetidas no cotidiano;

Criação de banco de dados com o perfil de mercado sobre as rochas estudadas enfatizando as especificações exigidas pelo consumidor e as condições de comercialização [aplicações mundiais das rochas, transações comerciais de materiais brutos e acabados, tipos comerciais de rochas, principais exportação/ importação, ações de marketing: informações de qualificação e modernização tecnológica, estudo mercadológico para realçar melhores oportunidades de negócio, credenciamento das rochas (selo verde) junto ao mercado interno].

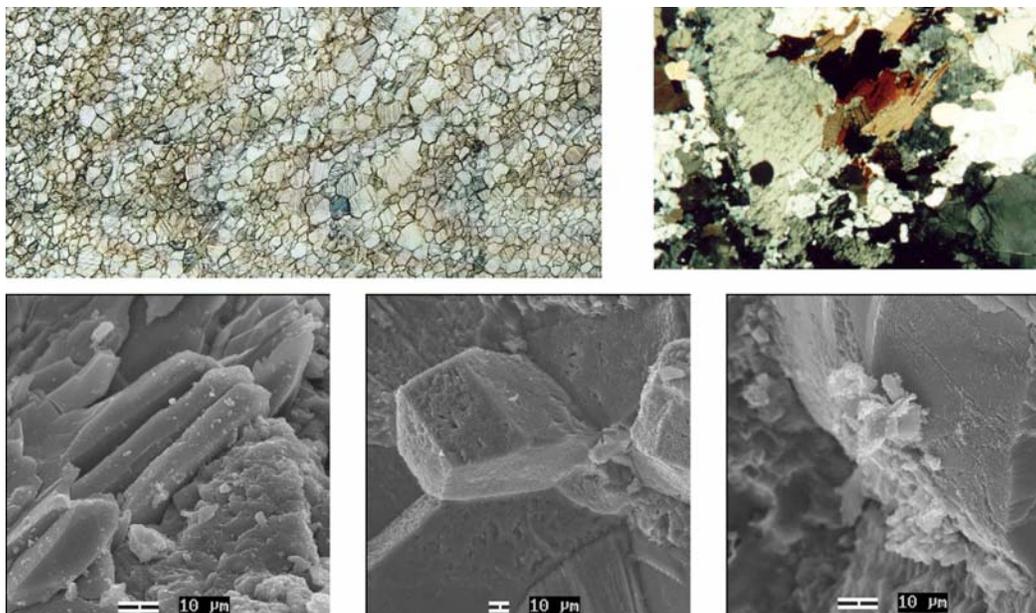


Figura 2: Avaliação microscópica de rochas com aplicação ornamental. (a) Acima, levantamento das características petrográficas de rochas ornamentais (composições mineralógicas e texturas), através da análise com o microscópio petrográfico de seções delgadas dos materiais (mármore à esquerda e granito à direita); (b) Abaixo, análise dos tipos de contatos entre grãos e dos efeitos de sub-efluorescência induzida em mármore Carrara, com o uso do Microscópio Eletrônico de Varredura.

CONCLUSÕES

Espera-se que a adoção desses procedimentos, aliada aos progressos já verificados na extração, no beneficiamento, nas técnicas de aplicação e nos métodos de análise, envolvendo os ensaios de envelhecimento acelerado para testar em laboratório a durabilidade dos tratamentos, permita o fornecimento em curto prazo de bases para as soluções de conservação de rochas nessas e em outras edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. 2001. As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias. Volumes 01 e 02. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico, 533p.
- BECERRA, J.E.B. 2004. Alterabilidade de rochas com aplicação ornamental:

procedimentos analíticos para sua conservação. Dissertação de Mestrado, DEGEL-IGC/uFMG, 117p.

- BECERRA, J.E.B. & COSTA, A. G. 2003. Processos de alterabilidade em granitos ornamentales brasileiros. Diagnostico y Procesos de Medicion. Congreso Colombiano de Geologia. Medellin, Colômbia.

- BEZERRA, F.N.M. 1999. Mármore ornamentais de Minas Gerais, novas técnicas de caracterização e prospecção. Dissertação de Mestrado DEGEL/IGC-UFMG, 145p.

- BARSOATELI, M.; FRATINI, F.; GIORGETTI, G.; MANGANELLI DEL FÀ, C.; MOLLI, G. 1998. Microfabric and alteration in Carrara marble: a preliminary study. Science and Technology for Cultural Heritage, v. 7(2), p. 115-126.

- BIANCHI H. K. (org.). 1992. Concepts and Problems of the Conservation of Historical

- Monuments. A Brazilian-German Workshop. Belo Horizonte, Brasil.
- BIANCHINI, P.; Fratini, F.; Manganelli Del Fà, C.; Pecchioni, E.; Sartori, R. 1999. Sette secolidi manutenzione programmata per la conservazione dei paramenti lapidei della Cattedrale di Santa Maria del Fiore in Firenze. *Scienza e beni culturali*, v. XV, p. 231-242.
- CALIXTO, C. & COSTA, A.G. 2003. Rochas Ornamentais e de Revestimento: a importância da caracterização tecnológica para os processos de aplicação e conservação sob a ótica da geologia e da arquitetura. CD-Room XII Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Ouro Preto, Minas Gerais.
- CAMPELLO, M.S. & COSTA, A.G. 2003. Metodologia para o emprego do Quantikov - Programa Analisador de Imagens -na determinação da Análise Modal de rocha com aplicação ornamental. CD-Room XII Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Ouro Preto, Minas Gerais.
- CAMPELLO, M.S. 2000. Caracterização tecnológica de granitos ornamentais: montagem de laboratório e rotinas para a realização de ensaios. Dissertação de Mestrado, DEGEL-IGC/UFMG, 113p.
- CANTISANI, E.; FRATINI, F.; MANGANELLI DEL FÀ, C.; RESCIC, S. 2000. Pore Structure transformation in a sandstone consolidated with ethly silicate -Abbey of Santa Maria di Vezzolano, Peedmont -Italy. (In): Proceedings of the New Millennium International Forum on Conservation of Cultural Property. Korea, p. 303-313.
- CANTISANI, E.; CANOVA, R.; FRATINI, F.; MANGANELLI DEL FÀ, C.; MAZZUOLI, R.; MOLLI, G. 2000. Relationships between microstructures and physical properties of white Apuan marbles: inference on weathering durability. *Per. Mineral*, v.69, no.3, p. 257-268.
- CARLOS, L.J. (ed.). 1996. Manual de Rocas Ornamentales. Prospección, Explotación, Elaboración e Colocación. Mostoles, Madrid, 696p.
- CASTRO E. de. 1977. Notas sobre Tratamento de Pedras em Monumentos. *Revista Geotecnia* N22, p. 85-99.
- CATHERINE, C.; Harotin, J.; Majot, J. 1990. Pierre et Marbres de Wallonie. Aam Editions, Bruxelles, 177p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO / CESP. Ensaio de Meteorização de Rochas. Laboratório de Engenharia Civil da Companhia Energética de São Paulo/LCEC -MRL-01. São Paulo, 10p.
- COSTA, A.G.; OLIVEIRA, S.F.de; MELO, E.L.; FREITAS J. R.L.de. 1998. Caracterização de quartzitos mineiros e suas aplicações no setor das rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.307.
- COSTA, A.G. 1999. Condicionamento Estrutural, Textural e metamórfico de Quartzitos com Aplicação no Setor das Rochas Ornamentais. Submetido para apresentação no VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG/Núcleo Bahia-Sergipe.
- COSTA, A.G. 1999. Granitos ornamentais da região Sul de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, Anais...São Pedro, SBG/Núcleo São Paulo, p. 141.
- COSTA, A.G.; CAMPELLO, M.S.; PIMENTA, V.B. 2000. Rochas ornamentais e de revestimentos de Minas Gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil. *Geonomos*, 8 (1): 9-13.
- COSTA, A.G.; MACIEL, S.L. 2001. Granada-cianita xistos com aplicação ornamental: exemplos da cidade de Mariana, Minas Gerais. XI Simpósio de Geologia de Minas

- Gerais. Belo Horizonte, MG.
- COSTA, A. G.; MACIEL, S. L.; PIMENTA, V.B. 2001. Rochas ornamentais e de revestimento: exemplos de aplicações de esteatitos, quartzitos, clorita-e granada-cianita xistos em monumentos históricos de Minas Gerais. VII Simpósio de Geologia do Sudeste. Rio de Janeiro, RJ.
- COSTA, A. G.; CAMPELLO, M. S.; MACIEL, S. L.; CALIXTO, C.; BECERRA, J.E. 2002. Rochas ornamentais e de revestimento: Proposta de classificação com Base na caracterização tecnológica. Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, PE.
- COSTA, A.G.; SILVA, M.E.; BECERRA, J.E.B. 2004. Ornamental and dimension stones: a study of cultural heritage buildings in Brazil. 32nd International Geological Congress, Florença-Itália.
- LÓPEZ J. C. 1996. Manual de Rocas Ornamentais: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid, Gráficas Árias, 700p.
- MACIEL, S.L. 2002. Caracterização tecnológica dos esteatitos de Santa Rita de Ouro Preto, Acaiaca e Furquim, em Minas Gerais. Dissertação de Mestrado DEGEL/IGC-UFMG, 81p.
- MARQUES A. E., Krätzig T. A. G., Herkenrath G. M. (ed.) 1994. IDEAS: Investigations into Devices against Environmental Attack on Stones. A German Brazilian Project. GKSS - Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Germany, 257p.
- OLIVEIRA, S.F.de; COSTA, A.G. 1998. Relações entre a petrografia e os índices físicos de mármore, quartzitos e granitos ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.323.
- OLIVEIRA, S.F.de; COSTA, A.G. 1998. Alterações de minerais e outros problemas relacionados aos materiais com aplicação no setor das rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.301.
- PECCHIONI, E.; FRATINI, F. Il marmo bianco apuano nelle opere d'arte. L'Informatore del Marmista, no. 471, p. 36-44.
- PIMENTA, V. 2002. Levantamento de técnicas de mapeamento para maciços granitoides com potencial para o setor de rochas ornamentais, com ênfase para as rochas da região de Dores de Guanhões-MG. Dissertação de Mestrado DEGEL/IGC-UFMG, 100p.
- RESENDE, M.A. 1996. Biodeterioração de monumentos históricos. Microbiologia Ambiental -Embrapa, p. 335-356.
- REVISTA DO SERVIÇO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. 1942. Algumas notas sobre o uso da pedra na arquitetura religiosa do nordeste. Ministério da Educação e Saúde. Rio de Janeiro, v. 06, p. 278-289.
- ROSSI, F. 2002. La Pittura di Pietra. Giunti Grupo Editoriale, Firenze, 177p.
- SOUZA, C.C.S. de. 2003. Rochas Ornamentais e de revestimento: A importância da caracterização tecnológica nos processos de aplicação e conservação - Ótica da Arquitetura. Dissertação de Mestrado DEGEL/IGC-UFMG, 161p.
- SOUZA, G.G.; SANTOS, M.R.C. de; COSTA, A.G. 1999. Quartzitos da região de São Tomé das Letras: caracterização tecnológica e análise ambiental. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, Anais...São Pedro, SBG/Núcleo São Paulo, p.155.
- WINKLER, E.M. 1997. Stone in Architecture: Properties Durability. Springer-Verlag, Wien. With 219 Figures and 63 Tables, 313p.

"CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DAS ROCHAS DE REVESTIMENTO NOS DIFERENTES AMBIENTES DE APLICAÇÃO: A PROPOSTA DA "BULA" PARA GRANITOS BRASILEIROS"

Rodrigues, Eleno de Paula ^(1,2,3,4); geólogo PhD, elenopr@uol.com.br;

1 – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI / SP

2 – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

3 – Universidade de Guarulhos – UnG

4 – Escola de Engenharia Mauá

INTRODUÇÃO

Mais do que por suas excelentes propriedades funcionais para o revestimento de edificações, em pisos, paredes, fachadas e outras superfícies, de interiores e áreas externas, os materiais rochosos naturais notabilizam-se pela diversidade dos padrões estéticos. Estes padrões, extremamente ricos e complexos, são derivados da combinação de diferentes estruturas (movimentos), texturas (dimensão e arranjo dos cristais constituintes) e feições cromáticas (dependentes da mineralogia e quimismo da rocha).

A multiplicidade dos ambientes geológicos geradores e as singularidades espaço-temporais da história de evolução da crosta terrestre, conferem particularidades estéticas únicas e exclusivas a cada tipo de rocha e até a cada afloramento de um mesmo maciço rochoso. Do ponto de vista geológico, tais processos genéticos combinam dezenas de elementos químicos, centenas de minerais e infinitos padrões texturais e cromáticos resultantes.

Como exemplo da dimensão temporal dos processos geológicos formadores da crosta terrestre e seus inúmeros materiais constituintes, menciona-se que as rochas graníticas brasileiras mais jovens, extraídas para ornamentação e revestimento, foram formadas a 80 milhões de anos. Esta referência geocronológica, além de qualquer argumentação técnica, ilustra a durabilidade

esperada para os materiais rochosos naturais em revestimentos.

Todos os materiais de revestimento sofrem, no entanto, agressões físico-mecânicas e químicas, por vezes bastante enérgicas, em seus variados ambientes de aplicação. As agressões podem desencadear, até em rochas muito resistentes como os granitos, processos de desgaste abrasivo, perda de resistência mecânica, fissuração, manchamentos, cristalizações por eflorescência de sais, mudanças de coloração e outras patologias menos freqüentes.

Os principais agentes dessas patologias relacionam-se tanto ao contato dos revestimentos com produtos de limpeza, alimentos, bebidas, cosméticos e ação de poluição atmosférica, inclusive chuvas ácidas, quanto a técnicas e argamassas impróprias de assentamento e rejuntamento de placas. Destaca-se, a propósito, que cada uma das numerosas variedades de rochas, oferecidas aos consumidores, reage de maneira distinta a cada um desses diferentes agentes.

Ressalta-se, também a propósito do assunto, que a maior parte dos problemas hoje observados nas obras ou relatados pelos consumidores, poderiam ser prevenidos mediante conhecimento das características tecnológicas das rochas, especificação de argamassas adequadas, indicação de técnicas apropriadas de assentamento e recomendação, em casos específicos, de

produtos impermeabilizantes e hidro-óleo-repelentes.

A palestra aqui referida, detalha o conjunto de ensaios laboratoriais efetuados como base orientativa para a correta especificação, assentamento e conservação de rochas ornamentais em seus diferentes ambientes de aplicação. Todas as informações e recomendações apresentadas estão fundamentadas em resultados qualitativos e quantitativos, tanto de ensaios laboratoriais já normalizados e previamente disponíveis, quanto ensaios previsionais de desempenho, especialmente desenvolvidos para composição da “bula”. As prescrições e orientações fornecidas nesse documento seguem a concepção de uma bula tradicional, utilizada para medicamentos, daí porque a designação adotada e referenciada durante a palestra.

BASES METODOLÓGICAS, ESCOPO DE ABORDAGEM E CONTEÚDO DA “BULA”.

IDENTIFICAÇÃO, PROCEDÊNCIA E PROCESSOS PRODUTIVOS

Escopo de Abordagem

São aqui apresentadas referências gerais sobre a rocha, sua área de lavra, processos de extração e beneficiamento, designação comercial, feições estéticas e ilustrações fotográficas da jazida, placas polidas e imagens microscópicas, como termo de garantia sobre a origem e autenticidade da rocha objetivada.

Referências Seleccionadas

- Descrição Macroscópica de Referência
- Método de Extração
- Tecnologia de Beneficiamento

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E USOS RECOMENDADOS

Escopo de Abordagem

Contém as especificações, resultados e conclusões de ensaios de caracterização tecnológica. Esses ensaios foram efetuados com a rocha em seu estado natural, sem aplicação de resinas e impermeabilizantes, observando-se procedimentos fixados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Bases Metodológicas

Os ensaios realizados são aqueles convencionalmente exigidos para a qualificação de uma rocha em obras de engenharia civil, incluindo petrografia, índices físicos (densidade, porosidade aparente e absorção d'água), desgaste abrasivo (teste Amsler), abrasão superficial (classe PEI), abrasão profunda, dilatação térmica linear, flexão a três pontos, resistência à compressão uniaxial simples e após congelamento e degelo. Destaca-se atualmente, dentre esses ensaios, a importância dos índices de absorção d'água, desgaste abrasivo e resistência à flexão.

PREVENÇÃO DE ALTERAÇÕES E MANCHAMENTOS

Escopo de Abordagem

Apresenta o resultado dos testes efetuados para avaliação da alterabilidade (ataque químico) e manchamento da rocha, segundo procedimentos normalizados ou adaptados das normas ABNT. Os resultados são qualitativos e de referência, observando-se o efeito produzido na rocha pelo contato prolongado de produtos químicos e substâncias diversas, de uso geral cotidiano. O efeito é sempre avaliado em uma superfície polida da rocha objetivada, tanto no seu estado natural quanto tratada por hidro-óleo-repelentes.

Bases Metodológicas

Os agentes de ataque químico utilizados são os especificados pela norma ABNT-NBR 13.818/Anexo H, incluindo: ácido clorídrico, comumente encontrado em produtos de limpeza à base de ácido muriático; hidróxido de potássio, presente em produtos de limpeza alcalinos, como os sabões; hipoclorito de sódio, presente em produtos de limpeza à base de cloro ativo, como alvejantes/água sanitária e substâncias utilizadas para tratamento de água de piscinas; cloreto de amônio, presente em produtos de limpeza à base de amoníaco; e, ácido cítrico, presente em frutas cítricas, refrigerantes, bebidas isotônicas, etc.

Os produtos de limpeza avaliados, não quanto à sua eficácia, mas em relação ao ataque da rocha, também segundo procedimentos adaptados da norma ABNT-NBR 13.818/Anexo H, foram os seguintes: Deter Day e Deter Clean, da São João Abrasivos; Limpol Neutro, da Bombril; Ypê Clear, da Química Amparo; LuaDet, da LuAzul; LEM-3 e BERT-27, da Bellinzoni; Fermalimp, da Saint-Gobain Quartzolit; IQO, da Indústria Química Olinda; e, Det-Ácido, da Technokolla.

A resistência ao manchamento foi avaliada segundo a norma ABNT-NBR 13.818/Anexo G, aplicando-se agentes manchantes peliculares (azeite), penetrantes (cromo ou ferro) e oxidantes (iodo).

A resistência ao manchamento por produtos diversos de uso cotidiano, de acordo com procedimentos modificados/adaptados da norma ABNT-NBR 13.818/Anexo G, foi avaliada pela ação de café, massa de vidraceiro, catchup, mostarda, molho inglês, Coca-Cola, vinagre, tinta de caneta, óleo automotivo, graxa e salmoura, também sobre superfícies em estado natural ou tratada por hidro-óleo-repelentes. Como base orientativa para consumidores, os manchamentos provocados foram enquadrados em cinco classes: não removíveis, removíveis com ácido clorídrico (3%), removíveis com saponáceos

(sapólio), removíveis com detergente e água quente, e removíveis com água quente.

Finalmente, avaliou-se o contraste cromático produzido pela infiltração de água em superfícies naturais e em superfícies impermeabilizadas com produtos selantes. Os selantes utilizados neste e nos outros testes de manchamento e ataque químico da rocha, incluíram o HIDROIL (silano-siloxano contendo resina acrílica, fabricado pela São João Abrasivos), MASTER REPEL (silano-siloxano base solvente, fabricado pela Master Chemicals) e FERMA PROTEC (silano-siloxano base água, fabricado pela Saint-Gobain Quartzolit).

Outros agentes de ataque e produtos protetores poderão ser futuramente testados, visando ao aperfeiçoamento das recomendações de uso e preservação das rochas avaliadas.

RECOMENDAÇÕES PARA ASSENTAMENTO

Escopo de Abordagem

Discute procedimentos e produtos para aplicação da rocha em pisos e paredes/fachadas, sob diferentes condições de solicitação ambiental. Foram testadas diversas argamassas de assentamento e rejuntamento, bem como produtos impermeabilizantes para o tardo das placas rochosas e para a base dos revestimentos (emboço e contrapiso).

Bases Metodológicas

Os ensaios realizados tiveram duas linhas de desenvolvimento: uma relativa ao sistema rocha/argamassas de assentamento; e, outra referente ao sistema rocha/argamassas de rejuntamento. No sistema rocha / argamassas de assentamento, avaliou-se a força de aderência das placas (norma ABNT NBR-14.084), o risco de patologias em pisos e o risco de patologias e deslocamentos em paredes/ fachadas. No sistema rocha/argamassas de rejuntamento, efetuou-se

determinação da permeabilidade (baseada na norma ABNT NBR-14.592/Anexo G) e do impacto de jato d'água, sobre juntas preenchidas.

Os testes de aderência das placas de revestimento simularam condições ambientais normais (cura a 23°C e 60% de umidade relativa do ar), ambientes úmidos ou constantemente molhados (cura submersa em água) e ambientes externos sujeitos a forte insolação (cura em estufa a 70°C). As argamassas de assentamento avaliadas incluíram a *Cimentcola* Ferma Mármore e Granito Interno, *Cimentcola* Ferma Mármore e Granito Externo e a *Cimentcola* Fermaflex, da Saint-Gobain Quartzolit, o adesivo Technorap-2, da Technokolla, e argamassa cimentícia convencional (cimento e areia). O impermeabilizante testado para o tardo das placas foi o SIKATOP® 107, fabricado pela SIKA S.A.

Para a avaliação do risco de patologias em pisos (manchamentos, eflorescências, escamações), as placas da rocha foram assentadas em um painel horizontal de concreto. Este painel, dotado de mecanismo para controle de umedecimento, permitiu simular condições de umidade ascendente, muito comuns em pavimentos térreos. As argamassas testadas foram a *Cimentcola* Ferma Mármore e Granito Externo e a argamassa convencional de cimento e areia (tipo “farofa”), assentadas sobre base (contrapiso) não impermeabilizada e impermeabilizada com Impermotex (camada fina), da Saint-Gobain Quartzolit.

Na avaliação de risco de patologias em paredes e fachadas, placas da rocha foram assentadas em um painel vertical de concreto, especialmente preparado para simular condições de choque térmico (insolação seguida de chuva), comuns em áreas externas. As argamassas de assentamento testadas neste experimento incluíram a *Cimentcola* Ferma Mármore e Granito Externo e a *Cimentcola* Fermaflex, da Saint-Gobain Quartzolit, o adesivo Technorap-2, da Technokolla, além da própria argamassa convencional de cimento e areia (tipo “calda”).

Nos testes do sistema rocha/argamassas de rejuntamento, utilizou-se a calda de cimento com Pó Xadrez® (LanXess), além do Rejuntamento Pedras, Rejuntamento Fachadas e Rejuntamento Epóxi, da Saint-Gobain Quartzolit. A avaliação da permeabilidade e do impacto de jato d'água foi efetuada sobre juntas preenchidas com esses produtos.

O conjunto de ensaios realizados permitiu fazer recomendações e propor opções para diversos ambientes possíveis de assentamento de placas rochosas, destacando-se os pisos e paredes internos, em ambientes praticamente secos, ambientes com molhagem freqüente e ambientes com umidade ascendente, bem como os pisos e fachadas/paredes externos, em ambientes com molhagem freqüente e com umidade ascendente.

Lavra de Rocha Ornamental no Brasil

Marçal Sayão Maia

Eng^o de Minas
Especialização em Engenharia de Produção

As rochas ornamentais, correntemente, são enquadradas em dois grupos: rochas carbonáticas e rochas silicatadas, embora haja uma diversidade enorme dentro de cada um deles no que concerne a aspectos petrográficos, estruturais e texturais. Igualmente, as jazidas podem ser enquadradas sob dois tipos de ocorrências, quais sejam: maciços e matacões, que também apresentam várias particularidades entre si, podendo, entretanto, ter seus procedimentos de lavra enquadrados nas seguintes operações:

1-Maciço: formação da bancada → marcação do prisma (painel) → liberação: abertura de canais laterais e perfuração primária → desdobramento do prisma (painel): perfuração secundária → individualização dos blocos (produto final): perfuração terciária e esquadrejamento / aparelhamento.

2- Matacão: seleção e liberação → perfuração primária: geração de prismas → desdobramento: perfuração secundária → individualização dos blocos (produto final): perfuração terciária e esquadrejamento / aparelhamento.

Confrontando as atividades de lavra em maciço e lavra em matacão, podem ser enfatizados alguns aspectos relevantes: na lavra do maciço pode se fazer um planejamento mais racional que resulta numa melhor padronização do produto final e numa melhor recuperação da jazida; é possível implementar maior mecanização na lavra e, conseqüentemente, imprimir maior nível de produção, e, em que pese se tratar de um processo que apresenta um custo operacional

mais alto do que o procedimento de lavra em matacão acarreta um saldo positivo na relação custo/benefício quando se trata de um litotipo que tenha um bom valor agregado.

A lavra em matacão é tecnicamente mais simples, porém, tem sua recuperação condicionada à geometria de ocorrência dos blocos, o que, quase sempre acarreta uma grande perda. Apresenta certa desvantagem quanto à padronização dos blocos (produto final).

Como característica comum entre as lavras em maciço e em matacão reside o fato de gerarem muito resíduo sólido e, com isso, causar uma interação paisagística impactante, muito embora seja algo pontual (os dados da ABIROCHAS para a produção bruta de rochas ornamentais em 2004 indicam o total de 6,4 milhões de toneladas. Para uma recuperação média de 50%, têm-se outros 6,4 milhões de toneladas acumuladas, que poderiam ser minimizadas por algum programa de aproveitamento desses resíduos).

A tecnologia disponível para lavra de rocha ornamental atingiu um alto nível, possibilitando um elevado grau de mecanização. No entanto, em virtude da maioria das jazidas nacionais se situarem em regiões carentes, onde a oferta de mão de obra é grande, a presença do homem no empreendimento é muito significativa, sendo mais pronunciada, proporcionalmente, na lavra em matacões.

Na perfuração da rocha, em seus vários estágios, ainda predominam as perfuratrizes pneumáticas. Como material

auxiliar no desmonte propriamente dito continuam sendo usados materiais explosivos (cordel detonante e pólvora negra que em função da sua escassez no mercado é substituída, inadequadamente, por explosivo granulado), massas expansivas e cunhas mecânicas. Na abertura de canais laterais são usados os maçaricos (jet flame), o corte contínuo (slot drill) e a máquina de corte com fio diamantado que vem ganhando cada vez mais espaço.

As rochas ornamentais nacionais que se apresentam sob a forma de maciço têm sua lavra realizada a céu aberto (com exceção para o arenito Azul Macaúbas que é subterrânea), com formação de bancadas. Sendo grande parte em encosta e outras em cava ou fossa (como é o caso de muitas canteiras/pedreiras de mármore). A condução dos trabalhos para formação das bancadas deve ser norteado por paradigmas técnicos, que devem ser ajustados a cada tipo de rocha.

Na formação da bancada que corresponde ao primeiro estágio, no qual ocorre o deslocamento das maiores massas, devem ser levados em consideração fatores condicionantes tais como: estrutura da rocha, padrão estético decorativo, equipamentos e metodologia. Para determinado tipo de rocha que apresente uma estrutura dúctil, com lineação bem definida, o comprimento da bancada deve corresponder a essa clivagem que se constitui um plano preferencial para corte, principalmente se está previsto o uso de explosivo ou de massa expansiva, enquanto os canais laterais serão abertos no plano perpendicular à clivagem. A altura da bancada deve ser múltipla, com folga para as perdas, das dimensões do bloco (produto) final, não devendo ultrapassar os seis metros, a não ser que ocorra alguma fratura horizontal ou sub-horizontal que possa vir a se constituir num plano de fraqueza natural, fato que implicaria num indicador / limitador da altura. No caso de se optar pelo desmonte com explosivo ou massa expansiva, o total de perfuração pode atingir até dez por cento de todo o processo. Os espaçamentos recomendados entre os furos verticais são da ordem de 15 a 40cm e

os horizontais de 20 a 50cm (valores orientativos). O diâmetro econômico de perfuração gira em torno de 32mm. Os furos horizontais e verticais devem ser acionados simultaneamente. Para o explosivo a razão de carregamento deve se situar entre 80 e 120 g/m³. Em se tratando de uso de massa expansiva, para furos de 32mm o espaçamento máximo recomendado (segundo alguns produtores) é de até 40cm, com consumo estimado da massa da ordem de 1,3 kg/m.

No segundo estágio, deve-se optar pelos espaçamentos mínimos recomendados. A quantidade de perfuração pode atingir até quarenta por cento do total, enquanto o diâmetro de perfuração recomendado, como no caso anterior, é de 32mm. O estágio final que corresponde à fase de acabamento dos blocos (padrão para comercialização) pode atingir até cinquenta por cento do total de perfuração do processo, enquanto o diâmetro de furo recomendado é da ordem de 25mm. Esse estágio é o que concentra maior quantidade de mão de obra associado ao menor nível de mecanização, o que implica em impacto social positivo.

Um fator de grande relevância para obtenção de bom desempenho na lavra de rocha ornamental é o equipamento destinado à movimentação de carga (tombamento/desagregação dos prismas/blocos, transporte e carregamento dos blocos) e acessórios. Os equipamentos móveis (pá-carregadeira e escavadeira hidráulica) representam mais de cinquenta por cento das inversões de capital para estruturar uma pedreira, ao passo que os equipamentos estacionários (com exceção para os DERRICKS) tais como pau-de-carga e guinchos que representam inversões de pequena monta. Daí a presença maciça destes equipamentos (em que pese sua limitação operacional) nas pedreiras com produção máxima em torno de 150m³.

A lavra desenvolvida nos matacões apresenta muitas nuances, a depender do porte e da forma daqueles. Na maioria das vezes é quase impossível mecanizar o

processo no primeiro estágio, implicando na utilização de marteletes manuais para executar a perfuração, o que acarreta perdas por falha do paralelismo e profundidade inadequada dos furos, além das já citadas devido à geometria dos matacões.

TECNOLOGIAS MODERNAS DE LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

José Lins Rolim Filho

Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco, zelins@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Um bom planejamento da lavra exige a melhor escolha do método, com tecnologias adequadas, onde se identificam os níveis de produção adequados às características da jazida. O planejamento deve identificar possibilidade de flexibilizar mudanças com o decorrer de informações adicionais na abertura dos corpos assim como as mudanças nas condições do mercado consumidor.

Um aspecto importante a se considerar, refere-se a necessidade de associar desde o início da atividade industrial, harmonizar as ações relativas ao meio ambiente, ficando comprometido o desenvolvimento a falta de espaço, onde os depósitos de rejeito encontram-se muitas vezes a poucos metros da área em exploração.

Em depósitos e jazidas minerais é de fundamental importância, para o sucesso da mina, um planejamento racional do depósito pesquisado; esse planejamento é feito através de uma análise de discretização do corpo, otimizando a posição e os diversos pontos de ataque durante a lavra. O desenvolvimento de uma jazida em sua plenitude, não é executado como uma operação unitária individualizada e sim uma operação integrada com a exploração do corpo, obedecendo a critérios rigorosos, os quais entre outros fatores são função de: mercado consumidor, disponibilidade financeira, disposição espacial do corpo mineralizado, geomecânica, relação custo/benefício de exploração, danos ambientais, danos sociais etc...

Uma vez com um certo conhecimento da reserva em questão, tais como forma, volume, qualidade do material, dimensões dos

blocos recuperáveis, características geológicas, classificação petrográfica, propriedades mecânicas dos materiais (resistências, índices físicos, etc.), que definem a qualidade e conseqüentemente custos de extração e preço de venda do produto, passa-se então ao estudo do planejamento da lavra, o qual é realizado por meio da discretização do corpo mineralizado compatibilizando-se as características de lavra propriamente dita com as geomecânicas do corpo e econômico-social, a fim de otimizar a exploração para uma recuperação máxima da jazida. Isso é feito através de discretização dos blocos no corpo rochoso e a partir deste ponto definem-se a metodologia de exploração, custos de extração, recuperação, e medidas mitigadoras aos danos ambientais.

EXPLOTAÇÃO

A exploração é uma etapa que ocorre concomitantemente com o desenvolvimento da pedreira e consiste na atividade de fazer a remoção dos blocos de material ornamental do maciço rochoso ou matacões, seguindo as orientações, metodologias e tecnologias definidas na fase de planejamento

Em rochas para fins ornamentais, o produto dessa etapa é a obtenção de blocos com arestas retangulares de dimensões que procuram obedecer às características do maciço e ou aproximar-se dos equipamentos que serão utilizados nas etapas de beneficiamento primário.

TECNOLOGIA DA ROCHA PARA FINS ORNAMENTAIS

Considerações gerais

A importância da rocha com fins ornamentais está confirmada pelo desenvolvimento crescente observado nas unidades produtivas.

O segmento produtivo de extração vem nos últimos anos apresentando grande evolução, o que se reflete na otimização das adaptações feitas nos métodos de exploração de jazidas, bastante desenvolvidos, empregados para outros bens minerais para rochas com fins ornamentais

Geometria e métodos de exploração de rochas para fins ornamentais

O sucesso na escolha ótima do método de lavra a ser definido depende de um bom modelo geológico, das dimensões da jazida, nível de fraturamento da rocha, posicionamento geográfico da área. Desta forma associando os dados descritos com a situação econômica e técnicas disponíveis tem-se:

- Lavra de maciços a céu aberto:
- Lavra por bancadas;
- Lavra por painéis verticais;
- Lavra por desabamento;
- Lavra seletiva;
- Lavra subterrânea:
- Lavra subterrânea em câmaras e salões.
- Lavra de Matacões:
- Matacões seletivos.

Os métodos de exploração definem a seqüência espacial e temporal de operações e ciclos de trabalhos para o aproveitamento de uma jazida, que por sua vez subdivide o maciço rochoso em volumes projetados e organizados segundo critérios hierárquicos.

A aplicação de um determinado método de lavra deve permitir, a fase de

desenvolvimento concomitantemente com a exploração, logo o primeiro passo a ser dado é a quantificação dos volumes, conforme mencionado no item planejamento, para em seguida ser determinada a seqüência de exploração.

As jazidas de rochas ornamentais, em sua grande maioria, possuem reservas muito superiores às requeridas pelas atividades produtivas, o que de certo modo em geral estas são superiores aos tempos de amortização dos investimentos necessários a operação da mina.

Na maioria dos casos, o método de exploração de rochas para fins ornamentais, projetada a área ou setor a ser lavrado, é desenvolvido através de métodos de lavra com avanço descendente e / ou lateral, desenvolvendo-se através de bancadas e instalação de praças. Os trabalhos de desenvolvimento executados constam essencialmente na retirada dos terrenos de capeamento (quase sempre pouco espessos), abertura das praças e estradas de acesso.

A escolha e otimização dos métodos de lavra, conforme já citado, é função da morfologia dos afloramentos, do volume das reservas, da análise geo-estrutural, do estado de fraturamento, da localização geográfica e das características intrínsecas do material objeto da exploração (planos de melhor feição textural para a chapa depois de polida).

Lavra por bancadas

Esta se processa semelhante aos métodos de exploração a céu aberto, sendo conduzida na forma de bancadas descendentes, cuja altura é múltiplo inteiro de uma das dimensões do bloco (normalmente a maior), ficando o afastamento como sendo outra das dimensões do bloco aceitável pela indústria de transformação. A escolha da altura do banco depende basicamente da morfologia geral da jazida, das características estruturais e da tecnologia de extração adotada.

Na lavra por bancadas, a jazida é subdividida em praças, que se constituem em planos horizontais subparalelos, obedecendo a uma seqüência hierárquica, utilizando-se as praças com dimensões adequadas aos equipamentos de transportes, carregamentos etc...

A solução de bancadas altas com extração de pastilhas permite as operações de seleção através de cortes primários, os quais são subdivididos sucessivamente em subvolumes, dos quais por esquadrejamento, são obtidos os blocos de rocha com dimensões comerciais.



Figura 1 – Lavra através de bancadas

No que se refere aos equipamentos de corte, na prática, estes são menos versáteis e quase sempre sub-dimensionados, e, em função de serem submetidos a condições extremamente severas de trabalho, tornam-se limitados ou insuficientes para a realização dos trabalhos na pedreira. Por outro lado a opção por equipamentos muito mais produtivos deve ser analisada com certos cuidados, afim de evitar elevados níveis de ociosidade.

De um modo genérico, a lavra conduzida por bancos de altura pequena (lavra por bancadas baixas), oferece maior flexibilidade, pois a orientação da frente de lavra pode ser facilmente modificada em função dos motivos estruturais, implementação da produção (mediante o incremento da mecanização) e mercado. Tal técnica é bem aceita quando se está diante de maciços rochosos com presença de planos de

descontinuidade sub-horizontais com equidistância entre 1 a 3m.

Entretanto a lavra por bancadas baixas reduz a seletividade na lavra, traduzindo-se em uma redução do nível de produção. Este fato leva a adoção geralmente às bancadas altas subdividindo-se a pastilha obtida em pequenos blocos comercializáveis. Em rochas com grande heterogeneidade qualitativa e estrutural, a escolha fica condicionada a bancos altos, e conseqüentemente baixa recuperação, o que pode chegar em alguns casos a 20%.

O método de exploração por bancadas baixas oferece ainda vantagens no que se refere a segurança, pois a exposição aos riscos de queda de pessoas com graves conseqüências é reduzida. Do ponto de vista ambiental, este método oferece menor impacto

visual, além de facilitar a recuperação da área degradada.

O método de bancada é empregado quando a pedreira já se encontra em um estágio avançado de exploração, isso é, quando já possui uma configuração geométrica regular definida.

No método de bancadas altas, isolam-se blocos de grandes volumes com dimensões e forma paralelepípeda, na maioria dos casos ultrapassando 1.000 m³, os quais são então posteriormente selecionados e subdivididos em blocos com dimensões comerciais cujo volume médio é de 10m³, descartando-se as partes imprestáveis para uso comercial como rocha para fins ornamentais. É imprescindível informar que neste método, na queda da pastilha deve-se adotar camas de amortecimento no pé destas, a fim de evitar a sua quebra ou geração de fraturas indesejáveis quando do derrubamento da mesma.

Lavra por painéis verticais

Trata-se de uma metodologia adotada nas fases iniciais de abertura da pedreira, isso devido a inexistência da possibilidade de desenvolver a lavra com maior eficiência, ou ainda este método é adotado quando são condicionantes de ordem econômica ou geológica.

Na fase inicial de projeto, a jazida é subdividida em painéis verticais, cuja espessura coincide com uma das dimensões do bloco a ser obtido (geralmente a dimensão intermediária), limitando-se inferiormente a cota da praça, daí verifica-se que a altura da pastilha fica condicionada ao perfil do afloramento.

No caso onde a topografia é acidentada, as dimensões verticais dos painéis tende a crescer rapidamente com o avanço da lavra, criando-se assim grandes índices de deflexão na perfuração (o que é indesejável). Esse fato leva a criação de níveis intermediários. Como os painéis são altos,

uma vez tombados devem-se ter o cuidados de por entre este e o piso colchões de amortecimento de queda, a fim de evitar fraturamentos por tombamento. Tombada a pastilha esta será então selecionada as partes desejáveis e então os blocos serão recortados para o comércio.

Da condição acima (pastilhas de grandes dimensões), conclui-se que este método é favorecido a sua adoção em corpos rochosos de grande heterogeneidade qualitativa e estrutural. Por outro lado, as conseqüências ambientais e de segurança do trabalho são extremamente desvantajosas, haja vista a pouca possibilidade de recuperação da área degrada simultaneamente com o desenvolvimento, assim como a elevada quantidade de rejeito decorrente da seletividade exigida.

Lavra por desabamento ou desmoronamento

Esta metodologia é utilizada em casos de rochas cuja estrutura de fraturas naturais ou falhas limitam a formação dos blocos. Em locais onde o gradiente topográfico é elevado. Neste caso, um grande volume de rocha é então desalojado com uso de explosivos deflagrantes, através de planos de fogo com configuração localizado entre os principais planos de fraqueza do maciço rochoso. Esta é uma técnica da exploração por desmoronamento

Outrossim informa-se que tal metodologia só deve ser empregada quando os condicionantes geológicos (blocos de partição) são favoráveis.

Lavra seletiva

Esta metodologia é adotada quando no maciço rochoso estão presentes famílias de fraturas cujas orientações são ortogonais entre si. Isso oferece a oportunidade de utilizá-las para destacar volumes de rochas que serão retrabalhados nas operações sucessivas de recorte e esquadreamento.

A diferença básica entre este método e o de desabamento, reside em que no primeiro, pode-se adotar critérios de seletividade que permitam a desagregação de grandes volumes de rocha já aptos ao transporte.

Lavra subterrânea

Quando se dispõe de uma boa reserva (jazida), procura-se usufruir ao máximo desta. Neste aspecto, é interessante a tendência de passar progressivamente da exploração a céu aberto para a subterrânea.

A passagem de céu aberto para subsolo implica em investimentos iniciais maiores, na abertura de galerias para transporte, ventilação etc.

A atividade de mineração é então desenvolvida com método de câmaras e maciços escolhidos que são então abandonados para sustentação do teto da mina.

A abertura de uma lavra subterrânea é realizada mediante a criação de espaços, denominados salões, sustentados por pilares,

geralmente constituídos por material de qualidade inferior, já que estes pilares são abandonados no interior da mina. A recuperação nesta tecnologia para rochas ornamentais pode chegar a 50%.

Este método vem sendo empregado em jazidas de calcário, particularmente nos mármore. Na lavra subterrânea o controle rigoroso na estabilidade de teto e pilares deve ser efetuado, as áreas de segurança, higiene, ventilação e temperatura devem sofrer controles rigorosos, a fim de minimizar as doenças profissionais e acidentes do trabalho. Técnicas de exploração subterrânea, transporte e mecânica das rochas, respondem pelo sucesso das operações de subsuperfície. Do ponto de vista de danos ambientais, esta tecnologia é a que produz o menor impacto sobre a paisagem local.

No Brasil, ainda são raras as jazidas sendo explotadas por tal método, entretanto num futuro breve não é descartada a possibilidade do uso de tal metodologia de extração de rochas para fins ornamentais de forma mais generalizada.

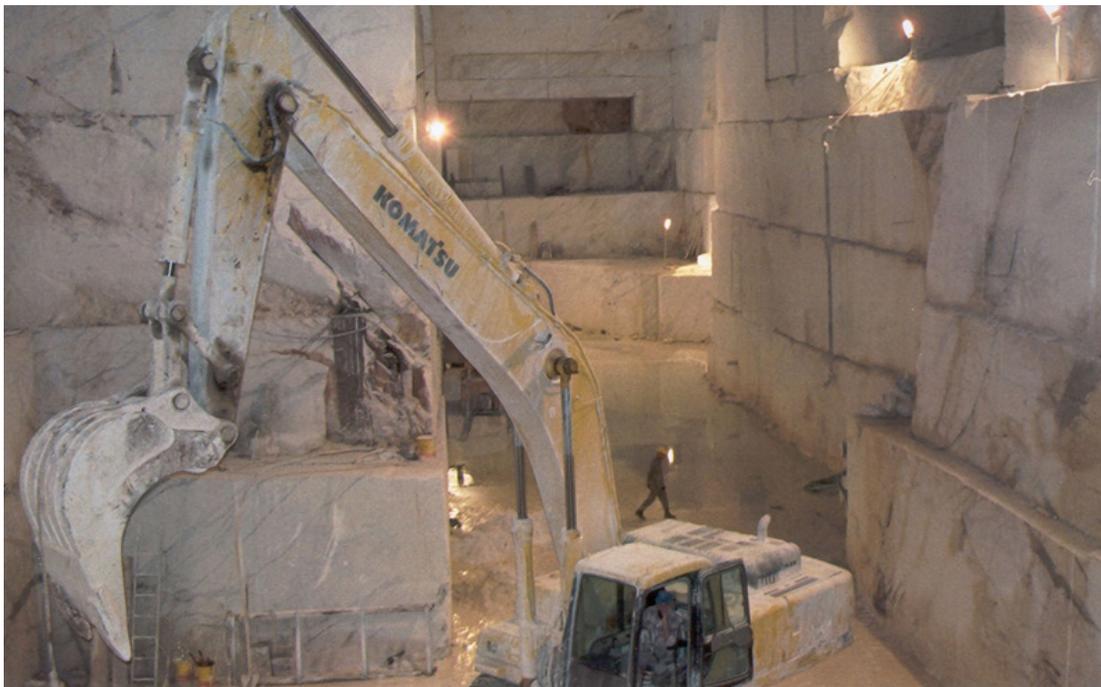


Figura 2 – Lavra subterrânea de mármore – Carrara / Itália

Lavra seletiva de matacões

Este método de exploração é ainda muito utilizado e por sinal preferido por empresários de visão imediatista. Os matacões são localizados principalmente em zonas tropicais, onde se verifica a formação de corpos de grandes dimensões.

A condução desta “lavra” é muito simples e pode ser executado por uma mão de obra não qualificada. Geralmente o volume de rocha naturalmente isolado é dividido em duas partes com uso de explosivos deflagrantes (pólvora negra) com uma razão energética de carga proporcional ao corpo a ser desmontado.

Esta carga é colocada em um furo central localizado no plano de melhor separação (“rift”). As partes após o fogo são então mais uma vez subdivididas e esquadrejada “in loco”. Se por um lado a exploração de tais blocos é viável devido aos baixos custos de operação, por outro lado existem os riscos inerentes de uma baixa recuperação e a não constância no fornecimento do material desejado.

Na Europa, onde os métodos de lavra por bancos regulares atingem um elevado nível técnico e economicidade, os matacões são considerados obstáculos e são então removidos por detonação; isso permite de uma maneira rápida, o início da lavra por bancadas.



Figura 3 – Lavra de matacões

Técnicas de desagregação (desmonte)

Desmontes para maciços:

O desenvolvimento tecnológico atual, permite alternativas de métodos de corte de tal forma que sejam otimizadas em função da

morfologia da jazida, das reservas das características petrográficas e estruturais da rocha, além da infra-estrutura local.

Existem disponíveis no mercado tecnologias de corte para rochas ornamentais as mais diversas e que podem ser reduzidas

em três grupos de atividades: técnicas cíclicas e contínuas e mistas.

Técnicas cíclicas.

Nesta técnica, os cortes necessários para isolar um volume de rocha sofrem diversas operações, algumas parciais outras sobrepostas, as quais constituem as fases de um ciclo. De um modo prático, existe uma completa compatibilidade com os diversos métodos de lavra.

Desmontes por desmoronamento:

Esta técnica é aplicada nos casos de jazidas localizadas em zonas montanhosas de encosta íngreme e caracterizada pela presença de um sistema de fraturas ou planos de estratificação subverticais que delimitam prismas de rochas destacáveis do corpo principal (muito característico nos maciços rochosos do nordeste brasileiro), através de simples execução de um corte na base.

A produção primária neste caso fornece blocos de volumes variados e formas irregulares sobre as quais tornam-se necessário intervir com sucessivos cortes secundários ou esquadrejamento.

Ao planejamento dos desmontes nesse caso torna-se de fundamental importância o perfeito conhecimento das características do maciço, andamento e extensão das discontinuidades existentes, bem como a previsão de planos preferenciais de fraturas. As conseqüências da análise destes fatores estão diretamente relacionadas aos altos custos envolvidos e que não admitem falhas, pois torna-se difícil remediar erros.

A recuperação neste método de extração é baixa, tendo como conseqüência elevados danos ambientais, devido ao grande volume de rejeitos produzidos. Convém salientar que associado a esta técnica devem sempre que possível dar destinos ao rejeito de tal forma a minimizar os danos visuais que tal lavra irá causar a paisagem local.

TECNOLOGIAS DE CORTE

As técnicas de corte podem e devem ser, na maioria dos casos, realizadas por uma combinação entre as técnicas disponíveis haja vista, que as mesmas são compatíveis entre si e os métodos de exploração. Baixo listamos as principais tecnologias de corte em utilização da lavra de rochas ornamentais atualmente.

- corte a maçarico,
- corte a jatos d'água,
- corte a explosivos,
- serras diamantadas, cortadoras a corrente
- fios diamantados
- fios helicoidais
- corte contínuo ou canalizado

Corte a maçarico, “Jet Flame”

Esta tecnologia é empregada na realização de cortes primários e desenvolvimento de canais em granitos. O sistema de corte, consiste na abertura de um fenda com uma profundidade em torno de 6m, com largura de 10cm e comprimento desejado, isso através de uma chama com temperatura de entre 1200 e 1300 °C, essa temperatura brusca, provoca na rocha uma dilatação diferencial dos minerais que estão sob a ação do calor, sendo portanto expulsos sob forma de cavacos. Do exposto verificam-se que esta técnica é mais apropriada para rochas eruptivas e as intrusivas ácidas sendo com menor eficiência aplicada a rochas básicas e efusivas.

Pode-se então notar que dentro das diversas técnicas de extração empregada, ela possui um emprego diretamente ligado a fatores composicionais e /ou estruturais. Nas rochas saturadas em quartzo, o processo apresenta bons resultados, enquanto nas não saturadas a chama provoca a fusão dos componentes minerais e o resfriamento posterior não obtendo a fragmentação desejada.

Quando o maciço rochoso apresenta pressão de confinamento, o alívio provocado com a construção do canal pela liberação lateral, associado à mudança brusca de temperatura, provoca o aparecimento de trincas secundárias oblíquas, ocorrendo em frequência em migmatitos.

O corte com chama, consiste em uma câmara de combustão revestida de material refratário, e que funciona a base de ar comprimido ou oxigênio como comburente (consumo de 10 m³/min) e óleo diesel ou querosene como combustível (consumo de 35

a 45 lt/h). tendo uma velocidade de corte entre 0,5 a 1,5 m²/h.

Embora esta técnica seja largamente difundida por sua simplicidade de uso e baixo investimento para aquisição, suas perspectivas são sombrias, isso pelo elevado consumo energético, dificuldades de emprego correlacionado as características da rocha, irregularidades na superfície de corte, danos no material em grande extensão, sérios impactos ambientais e por gerar nas rochas microfissuras nas laterais do corte que podem chegar entre 10 e 30 cm dependendo da rocha.



Figura 4 – Maçarico (“Jet flame”)

Corte com jatos d’água, “waterjet”

Esta tecnologia fundamenta-se na desagregação da rocha por ação de jatos d’água gerados por bombas de alta pressão. O corte é então obtido por um ou mais jatos d’água a pressões que atingem 400 MPa, atuando a uma distância próxima a rocha, desta forma provoca o desagregamento dos fragmentos junto às microfissuras e

descontinuidades mineralógicas, onde a ação encontra então sua maior eficiência.

A superfície de corte então obtida, apesar de ser rugosa apresenta-se bastante regular, abrindo fendas cuja espessura a depender da regulagem do sistema e da rocha gira em torno de 20 a 60 mm.

O equipamento de corte consiste de um trailer contendo bombas hidráulicas, a água é

então encaminhada para os intensificadores de pressão e daí para uma mangueira cujo bico é de aço duro. O trailer é então montado sob trilhos e desloca-se em movimento cíclico de vai e vem, fazendo com que o jato incida sobre o ponto de corte desejado, com uma pressão em torno de 69 a 310 MPa cortando gradativamente a rocha.

A principal vantagem reside no pequeno desgaste de peças de reposição, pequenos danos ambientais, reduzido nível de poeira e vibração, entretanto do ponto de vista econômico reside sua principal desvantagem, pois o custo ou investimento inicial é bastante elevado US\$ 200,000 a 300,000 e o consumo

energético aumenta proporcional ao aumento da potência do sistema em elevados níveis.

A central da máquina é acionada por um motor de 100 hp, podendo esta ser aumentada quando solicitada uma maior velocidade de corte.

A operação da máquina é totalmente computadorizada, onde existe um controle rigoroso de pressão, vazão, velocidade rotacional, velocidade de translação etc.

A velocidade de operação varia em torno de 1,0 m²/h, o consumo envolvido são em torno de 70 kwh de energia e 8,0 lt/min de água.



Figura 5 – Corte com jato de água sob pressão

Corte a explosivos

O uso de explosivos para desmontes e corte em rochas é uma das fontes energéticas das mais antigas em uso.

O uso de explosivos em desmontes para rochas ornamentais em trabalhos

primários, consiste em executar furos eqüidistantes e paralelos (importante o paralelismo) dispostos segundo planos longitudinais, transversais e horizontais de corte da bancada. A eqüidistância entre furos onde serão locadas as cargas explosivas gira em torno de 20 a 40 cm ou seja, 5 a 2,5 furos por metro quadrado de corte, tendo furos de

pequeno diâmetro intercalado a uma profundidade de 1/3 do furo primário (tampão no desmorte convencional), apenas estes últimos apresentam-se carregados com explosivos.

Para um cálculo expedito, a quantidade de explosivos deflagrantes a serem usados é em torno de 50 a 100gr/m de furo, iniciado com cordel detonante geralmente o NP 10 para abertura das pastilhas usado na zona de afastamento e NP 5 nas cargas laterais de canal e fundo. É importante que as cargas não fiquem em nenhum ponto casadas com o furo pois este fato gera tensões de pico muito superiores a resistência das rochas o que ocasiona fraturas radiais prejudiciais ao bloco.

Uma técnica que surte bons efeitos é o uso de Air Decking. O uso desta técnica reduz sensivelmente a ação degenerada das microfraturas resultantes da ação das cargas

explosivas. Nessa técnica convém salientar que a disposição das cargas nos furos consecutivos não devem estar dispostas na mesma altura. Pode ser ainda, a depender da rocha, que apenas o uso de cordel detonante imerso em água seja capaz de produzir o fraturamento desejado (“pré splitting”).

Para o desmorte a explosivos é necessária a formação de pelo menos uma face desengastada para a atuação do deslocamento do bloco. Isso é feito com uma abertura nas laterais (em forma de cunha) da pastilha sendo este material descartado por possuir um grande número de microfraturas associado. Dispondo-se de outra técnica de corte (maçarico, fio diamantado, corte contínuo etc...) a formação da face livre de engaste é realizada com tal equipamento, evitando-se assim a formação de microtrincas e portanto aumentando a recuperação da jazida.



Figura 6 – Corte com uso de explosivos

Corte com perfuração e explosivos:

A técnica de corte de perfuração com explosivos (Pré-corte), é executada com uso de furos próximos entre si definindo o plano de corte, esta é muito difundida e preferida pela maioria das empresas que operam voltadas a produção de blocos.

Esta técnica tem como característica básica a fácil adaptação às mais variadas configurações de projeto de pedreiras, mesmo quando as bancadas não obedecem a um plano de regularidade.

A técnica a que esta sendo referida, consiste como já foi dito, numa série de furos em linha, distanciados entre 15 e 20 cm

O método de desmonte a explosivos é a técnica mais econômica em termos de desmonte para a obtenção da pastilha básica, entretanto convém salientar que os furos devem ser alinhados para a obtenção do sucesso desejado.

Serras diamantadas

A serra de corrente diamantada é uma máquina semelhante às usadas nas minas de carvão e adaptadas para a exploração de rochas para fins ornamentais (mármore). É utilizada em consórcio com um fio diamantado, facilitando e otimizando a operação de corte.

A parte operacional da máquina é movida sob trilhos, através de um sistema de cremalheira. O sistema de rotação do braço permite que o mesmo gire a 360°, dependendo do modelo da máquina, possibilitando realizar cortes horizontais e verticais com uma profundidade de até 3m, com largura da fenda de 6cm.

Os insertos, de forma quadrada, são mecanicamente fixados na corrente, que é lubrificada regularmente com graxa(8 a 10kg/dia), para diminuir o atrito com a rocha. A refrigeração da corrente é feita com água circulante 20l/min.



Figura 7 – Corte com serra diamantada

Fios diamantados

A partir da introdução na Europa, em meados dos anos 70, a tecnologia do fio diamantado tem conquistado rapidamente espaço nos principais países produtores de pedras para fins ornamentais.

Com a adequada utilização do fio diamantado, torna-se possível aumentar a velocidade de corte com uma melhor geometria, proporcionando maior taxa de recuperação; reduzir consideravelmente o nível de ruído, vibrações e poeira.

À operação de corte consiste em puxar uma alça de fio diamantado, enlaçada na rocha por dois furos ortogonais entre si, onde através de movimentos de translação circular do fio e da constante força de tração exercida sobre ele, promove-se o desenvolvimento do corte.

A polia tracionadora é responsável pelo movimento de translação do fio, cujo tensionamento é aplicado de maneira controlada, através do deslocamento para trás de uma unidade tracionadora.

Através de rotação da polia, e do posicionamento estratégico das polias

acessórias e da máquina em relação ao corte, o fio diamantado pode realizar praticamente todos os tipos de corte necessários e suficientes para a extração da rocha.

Na execução dos furos para passagem do fio diamantado são utilizadas perfuratrizes roto-percussivas, preferencialmente esses furos devem ser de 80 a 90mm.

O fio diamantado é composto por um cabo de aço com 5mm de diâmetro montado com ferramentas de corte denominadas pérolas (sinterizadas ou eletrodepositadas), cujo diâmetro gira em torno de 10 a 11mm, sendo estas pérolas intercaladas com espaçadores regulares e travadas a cada conjunto perolado.

Na operação de corte, o desgaste das pérolas está diretamente ligado ao ângulo de abraçamento do fio com a rocha, que se desenvolve ao longo do corte, sendo o desgaste inversamente proporcional a este ângulo.

Um dos principais fatores que deve ser observado com extremo rigor, está relacionado com o resfriamento do fio, que é feito com água, numa razão variável em torno de 50 a 60 lt/min.



Figura 8 – Corte com fio diamantado

Fio helicoidal

A tecnologia de corte por fio helicoidal, aplicada com sucesso no passado (em rochas calcáreas macias), é hoje considerada obsoleta e encontra utilização ocasional em países em desenvolvimento onde não absorveu ainda técnicas de corte mais modernas. A utilização desta técnica é sustentada por tratar-se de rochas macias, com pequenos teores de quartzo, onde o corte é feito com relativa facilidade através do uso de areias quartzosas como elementos abrasivos. Em rochas mais duras, onde o uso de elementos abrasivos mais eficientes, eleva o custo operacional tornando praticamente inviável a sua aplicação.

Esta técnica baseia-se no movimento em ciclo fechado de um fio, constituído de três arames de aço trançados helicoidalmente com um diâmetro externo de 5 mm responsável pelo transporte de uma mistura abrasiva, constituída de areia e água ou carborundum, que atritada diretamente contra a rocha provoca a penetrabilidade do fio na mesma.

A areia deve ser bastante silicosa, granulometria uniforme em torno de 0.5 a 1 mm, A água é usada como elemento refrigerador do fio evitando o seu rompimento por fadiga, além de facilitar a circulação do abrasivo.

O sistema de alimentação da mistura abrasiva é normalmente constituído por dois reservatórios: um com água e areia e o outro apenas com água a qual flui em quantidades suficientes para manter a porcentagem de sólidos em suspensão e uma boa refrigeração do fio.

Para um maior controle do direcionamento do fio assim como um desgaste uniforme, o sentido de rotação da máquina é periodicamente invertido.

Neste tipo de técnica, a superfície de corte produzida é bastante regular, permitindo

portanto um aproveitamento integral dos teares na fase de serragem reduzindo assim o volume de rejeitos.

Corte contínuo ou canalizado ou a “Slot Drill”

A perfuração contínua constitui-se em mais uma técnica baseada na perfuração e que atualmente vem ganhando espaço na extração de rochas para fins ornamentais, pois apresenta ótimos índices de eficiência. Sua competitividade em relação ao corte com maçarico é bastante evidente, destacando-se o caso de seu uso nas proximidades de áreas urbanas, zonas onde persistem a não uniformidade textural, vitrificação, trincas por superaquecimento, realização de rebaixos etc..., todavia suas limitações são claramente sobressaltadas no caso de irregularidade na superfície de apoio do equipamento, como no caso de lavra por painéis verticais.

A técnica consiste na execução de furos justapostos de 80 mm de diâmetro, de modo a obter um plano de ruptura contínuo, que permite a separação do bloco. Uma outra variante mais econômica desta técnica consiste na realização de furos obedecendo ao sentido de avanço com hastes de 64 mm de diâmetro, para no retorno promover o rompimento do espaço entre furos com furos de coroas maiores, em ambos os casos, os furos são executados com o auxílio de elementos guias; daí o nome de furos canalizados.

A necessidade de um perfeito paralelismo e planicidade entre furos colocam limites quanto a profundidade, limitando portanto a pedreira as condições dos limites dos índices de deflexão fornecido pela haste.

No caso da perfuração contínua, os blocos podem ser obtidos diretamente do maciço sem a fase de subdivisão apresentando um bom acabamento e preservando a integridade física da rocha.

Os furos acima citados são então realizados com uso de equipamentos pesados específicos para usos em rochas para fins ornamentais, a slot drill, que é uma perfuratriz roto-percursiva, utilizada no processo contínuo de corte em rochas duras.

A execução do corte é então realizada em duas etapas: na primeira etapa é feito uma série de furos com espaçamento entre furos de igual ao diâmetro, na segunda etapa o espaço entre furos é então refurado proporcionando assim uma fenda em todo o maciço com uma profundidade em torno de 6m. neste tipo de perfuração é utilizado brocas com extensão.

SISTEMAS AVANÇADOS

Fio Diamantado

Nos últimos anos, o fio diamantado vem gradativamente substituindo o fio helicoidal, proporcionando maior velocidade de corte, maior capacidade de manobra de todo equipamento, bem como uma melhor compartimentação do volume de rochas a desmontar. O fio diamantado consiste em um cabo de aço de 5 mm de diâmetro; no qual são introduzidas com certa seqüência, pérolas diamantadas (10 mm), anilhas, separadores e uniões. O componente mais importante do fio diamantado consiste nestas pérolas fabricadas por dois métodos distintos : eletrodeposição ou sinterização.

As eletrodepositadas são construídas usando um processo químico que consiste em um banho galvânico com um componente de sal de níquel e diamante sintético (40 e 60 mesh) como eletrólito.

A sinterização consiste em homogeneizar o metal com diamante sintético (41 a 50 mesh) fazendo uso de elevadas pressões e temperaturas.

A principal diferença é nas pérolas eletrolíticas a velocidade de corte decresce linearmente com o uso, enquanto as sinterizadas mantém uma velocidade de corte constante durante a vida da pérola.

Tendo em vista os custos operacionais, os fabricantes de material diamantado desenvolveram uma nova pérola sinterizada de menor diâmetro e com 30 pérolas/metro, cabo de aço de 3 mm e 49 fios, pérolas de 6,50 mm de comprimento por 7 mm de diâmetro.

A moderna tecnologia de corte com fio pressupôs a introdução do fio diamantado, que permite com menores comprimentos de cabos e rendimento de corte muito superiores, manter uma qualidade de acabamento semelhante à alcançada com o fio helicoidal tradicional.

Os equipamentos são basicamente compostos de:

1. Grupo motor, com acionamento elétrico e montado sobre um chassis móvel, que atua sobre a polia condutora do fio;
2. Conjunto guia composto por dois chassis sobre o qual se move o sistema de acionamento;
3. Sistemas automáticos de controle de extração, velocidade e tensão do fio, etc...

O fio diamantado consiste de um cabo de aço inoxidável que leva agarradas, a maneira de contas de colar, pérolas' diamantadas de forma cilíndrica, com separadores constituídos de molas.

A técnica de operação com fio diamantado se baseia na perfuração a partir da superfície, de furos perpendiculares e secantes que permitem fechar o circuito do fio no plano de corte. O método de operação se desenvolve de acordo com a seqüência abaixo:

1. Abertura normal à frente mediante dois cortes verticais laterais e um corte horizontal na base do bloco com fio diamantado.
2. Corte vertical com fio diamantado, perpendicular à frente, a partir dos furos secantes, na superfície da bancada.
3. Corte vertical posterior paralelo à frente dispondo-se o equipamento no nível superior. O bloco, já separado, é tombado sobre a praça, transportado, subdividido e esquadrejado para a venda.

O processo se repete com os blocos subjacentes em seqüência sucessiva.

Rendimentos Médios	m²/h	m²/m
mármore cristalinos brancos	8 a 15	25 a 50
mármore e calcáres compactos	5 a 9	15 a 30
mármore duros	3 a 5	15
mármore moles e porosos	10 a 15	50 a 75

Os rendimentos de corte e duração dos cabos dependendo das propriedades das rochas, sendo habitual a especificação acima para mármore.

Atualmente,. acha-se em vias de desenvolvimento a aplicação do fio diamantado no corte de granito, fundamentalmente daquela de baixo teor de quartzo.



Figura 9 – Fio diamantado

Corte com Jato de Água

Tecnologia desenvolvida com base nos novos equipamentos hidráulicos de alta potência, maior robustez e confiabilidade.

Basicamente, consiste de uma central hidráulica acionada por um motor elétrico e acoplado a uma bomba hidráulica de alta

pressão, que, por uma vez é acionada por um multiplicador de pressão constituído de um pistão de efeito duplo e movimento alternativo capaz de realizar entre 60 e 80 ciclos por minuto. O efeito multiplicador se consegue pelo pela diferença relativa de superfícies ativas do pistão, que impulsiona a água através de uma bomba de injeção, feita de safira sintética, e com diâmetro entre 0,1 e 1mm.

A ruptura da rocha acontece por choque do jato de água e pelas microfaturas criadas conseqüentemente. Para uma velocidade de 300 m/s, a pressão do fluido é de 150 MPa, superior à resistência da maioria dos materiais rochosos.

Os rendimentos de corte alcançados em alguns ensaios superam os 2 m/min, que equivalem a avanços em profundidade de 2 cm por passada, ou 4,4 m²/h, que são quase a metade dos obtidos no corte com disco diamantado.

O “water jet” é um processo para corte de rochas utilizando um jato d’água de alta pressão. A técnica é pouco usada nos meios industriais, mas está em franco desenvolvimento no ramo da investigação, que incide em 4 áreas distintas:

1. Auxiliando o corte mecânico
2. Jatos d’água por cavitação
3. Corte com jatos abrasivos

Auxiliando o corte mecânico

Quando uma ferramenta mecânica corta a superfície da rocha, esta se fratura e se reparte ao redor do ponto de contato. Pesquisas mostraram que o melhor uso do jato d’água na melhoria deste processo é na remoção da rocha fraturada ao redor da ponta do bit, ou ferramenta.

Particularmente nas rochas duras, o jato d’água somente é capaz de cortar material quando este é previamente enfraquecido por uma ferramenta mecânica. Geralmente é contra produtivo que o jato corte mais do que o estimado, porque a remoção de muita rocha irá anular a carga de bit da ponta deste para os ombros da ferramenta. Se o jato incidir demasiadamente distante da ponta do bit o impacto na rocha será realizado fora da zona de influência. Assim, desde que não possua potência suficiente para cortar a rocha não fraturada, o processo parece não funcionar, entretanto, isso tem ocorrido em razão do uso inadequado da ferramenta.

Quando a combinação é correta e a energia aplicada devidamente, melhorias significativas podem ocorrer. Aperfeiçoamentos recentes de ferramentas sugerem a introdução de diamantes compactos policristalinos (pcd’s) como um novo agente cortante. A experiência mostrou que o uso desta ferramenta em conjunto com o jato d’água é muito eficaz no corte de rochas de dureza média. Já a aplicação para rochas duras está na primeira fase de desenvolvimento.

Jato d’água por cavitação

Um método seguido para demonstrar a performance dos jatos d’água por alta pressão foi a introdução de pequenas bolhas de cavitação na corrente de jato. Essas bolhas, que podem ser simplesmente consideradas como bolhas de vácuo no interior da corrente de alta pressão, colapsam muito rapidamente e podem induzir pressões de impacto acima de 1 milhão de PSI, apesar da duração muito reduzida. Tais pressões são suficientes para provocar fraturas na superfície da rocha que podem perfeitamente ser removidas pela potência da corrente principal do jato. Esse método ainda não possui aplicação nas indústrias, mas pesquisas objetivando o seu aperfeiçoamento prosseguem, sendo o processo considerando bastante promissor.

Corte com jatos abrasivos

Esse processo surge com a adição de pequenas quantidades de um abrasivo, como a areia, por exemplo, à corrente de jato de água de alta pressão. O método usual consiste em acelerar a pressão d’água até a velocidade final e dirigi-la para uma pequena camada de mistura. Em seguida, as partículas do abrasivo devem ser aceleradas até uma velocidade final adequada usando jatos d’água da ordem de 35.000 a 55.000 PSI. A combustão de abrasivos com jato d’água resulta em vantagem básica no desenvolvimento dessa ferramenta.

No entanto existem algumas desvantagens no uso convencional de abrasivos com jato d'água. O método da mistura do abrasivo com a corrente é bastante rude e pode resultar em mais de 10% de fragmentações das partículas do abrasivo

durante a mistura, em vez de fragmentarem quando de impacto com o alvo. Outra dificuldade são os elevados caudais de água que colocam em questão o sistema de bombeamento.



Figura 10 – Jato de água sob pressão

Outras Técnicas (novas e em desenvolvimento)

Entre as diversas tecnologias em pesquisa na atualidade, as que apresentam maiores possibilidades de aplicação na lavra de rochas ornamentais, sejam como tecnologia de corte ou como operação de apoio à exploração, destacam-se:

- plasma
- raio laser

- ultrassom
- reativos químicos
- cimentos expansivos

Nas tabelas a seguir são apresentados a possibilidade de aplicação das tecnologias de corte e alguns dados técnicos de rendimentos comparativos entre as diversas tecnologias de corte disponíveis para a lavra de rochas ornamentais, incluindo as tecnologias tradicionais e as mais modernas tecnologias de corte.

Tabela 1 - TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

<i>Tipos de rocha</i>	<i>perfuração</i>	<i>Cortadeira de braço</i>	<i>Fio helicoidal</i>	<i>Fio diamantado</i>	<i>Disco</i>	<i>Lança térmica</i>	<i>Jato de água</i>
granitos	P	I	I	D	M	M-P	D
mármore	P	P	P	P	P	I	D
ardósias	P	P	P	P	P	I	D

P = possível; I = inviável na atualidade; M = marginal; D = em via de desenvolvimento

Tabela 2 - TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE MÁRMORES

<i>Item</i>	<i>Corte c/explosivo</i>	<i>Lança térmica</i>	<i>Fio diamantado</i>	<i>Jato de água</i>	<i>Perfuração em linha</i>	<i>Cunhas hidráulicas</i>
Velocidade de corte(m ² /h)			2 - 3	10 - 12	5 - 7	
Largura do corte (mm)		9 - 10	11 - 12	40 - 50		
rugosidade	5 - 8	1 - 2	2 - 4	0 - 1	2 - 3	4 - 8
Espessura zona danificada (cm)	10 - 15					
dedução comercial (cm)	15 - 23	1 - 2	2 - 4	0 - 3	2 - 3	4 - 8

Tabela 3 - SISTEMAS DE EXTRAÇÃO DE GRANITOS

<i>Ítem</i>	<i>Corte com explosivo</i>	<i>Lança térmica</i>	<i>Fio diamantado</i>	<i>Jato d'água</i>	<i>Perfuração em linha</i>	<i>Cunhas hidráulicas</i>
Velocidade de corte(m ² /h)		1 - 2	3 - 42	1 - 3		
Largura de corte(mm)		80 - 100	11 - 12	30 - 50		4 - 8
Rugosidade	5 - 8	4 - 6	2 - 4	1 - 2	2 - 3	
Estatura da zona danificada (cm)	5 - 10	12 - 20				
Dedução comercial (cm)	10 - 18	14 - 26	2 - 4	1 - 2	2 - 3	4 - 8

Raios laser

Há muitas especulações sobre sua aplicação, mas, até o momento, nada existe de concreto sobre o assunto e acredita-se que nada venha ocorrer em futuro próximo pois, para segurar um laser com poder suficiente para serrar rocha, o processo terá de envolver elevado consumo de energia tornando-o

economicamente inviável frente aos atuais métodos utilizados.

Entretanto considera-se que os raios laser não serão utilizados como ferramenta de corte mas sim como meio orientador do equipamento de furação e corte. Na prática existe grande dificuldade na interceptação de furos para posterior introdução do fio

diamantado e muitas tentativas são necessárias para que se interceptem 2 ou mais furos, daí a vantagem do sistema emissor-receptor. O emissor seria uma fonte de raios laser que criaria um plano de furos a interceptar; o receptor consistiria de uma ferramenta de furação ou corte sendo esta obrigada a seguir a trajetória indicada pelo raio laser.

CONCLUSÕES

No que consiste às tecnologias de extração, os métodos são diferenciados de acordo com a natureza dos materiais. Nas pedreiras de rochas carbonáticas (calcários e mármore) empregam-se técnicas de corte com ferramentas diamantadas (fio e cortadora de braço), com os quais se obtém bom desempenho e produção de melhor qualidade com os custos inferiores aos alcançados com métodos tradicionais, como o fio helicoidal e técnicas de corte descontínuo. As ferramentas diamantadas são ainda muito usadas nas operações de serragem e acabamento.

As rochas eruptivas, em especial o granito, têm a extração realizada fundamentalmente com técnicas tradicionais, baseadas na perfuração, utilizando-se para separação cordel detonante com razão de carga uniforme, tanto para o corte primário como secundário e cunhas para as operações de corte e esquadreamento de blocos. O corte de abertura - criação de face livre - é freqüentemente feito com equipamento de chama térmica ou flame-jet.

Devido a problemas ambientais considera-se atualmente a possibilidade de introdução de novas tecnologias como o uso fio diamantado, convenientemente adaptado ao trabalho com materiais mais resistentes e o jato d'água a grande velocidade com ou sem adição de areia abrasiva.

As principais tecnologias utilizadas atualmente na lavra de rochas ornamentais, cuja escolha depende do tipo de rocha, são:

1. Tecnologias cíclicas

- Desmonte por desmoronamento
- Divisão com cargas explosivas unitárias
- Perfuração contínua
- Perfuração contínua e fissuramento com dispositivos quebra rochas
- Perfuração coplanar e paralela e splitting dinâmico com explosivo
- Divisão mecânica ou manual sem perfuração

2. Tecnologias de cortes contínuos

- Fio helicoidal
- Fio diamantado
- Cortador de corrente
- Discos dentados
- Termo jato – jet flame
- Jatos d'água a grande velocidade
- Serragens em teares com lâminas, fio ou discos de diamante

A solução dominante para as rochas carbonáticas é o fio diamantado, que opera individualmente ou combinado com o cortador a corrente e que começa a ser utilizado em pedreiras de granito, inclusive.

A tecnologia de jato d'água a grande velocidade (waterjet) mostra-se promissora principalmente quando aplicada aos materiais de maior prestígio, que apresentam problemas com segurança, salubridade do ambiente de trabalho e respeito à ecologia (meio ambiente).

As rochas carbonáticas são lavradas com utensílios de corte contínuo, em particular com o uso de fio diamantado associado ao cortador de corrente munido de elementos de carbeto de tungstênio, ou pastilhas de diamante. Os métodos baseados na perfuração sobrevivem para os casos de material de maior prestígio, ou na presença de fraturas ou estratificação intensas. Por outro lado, as rochas silicáticas são lavradas com métodos tradicionais para os cortes primário e secundário e dispositivos de quebra rocha para as operações de corte ou esquadreamento de blocos.

BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO E FINAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Júlio César de Souza

Eng° de Minas, Dr-Eng^a
Prof. Ajunto DEMINAS/UFPE
Coordenador PPGEMinas

INTRODUÇÃO

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos extraídos na fase de lavra em produtos finais ou semi-acabados, destinados a etapas posteriores de transformação até obter-se o produto final a ser aplicado.

Pode-se separar os tipos de beneficiamento em beneficiamento primário, ou desdobramento, e beneficiamento final. Os processos envolvidos no beneficiamento primário visam à obtenção, a partir dos blocos em bruto, de chapas, espessores ou tiras de rocha ornamental que serão posteriormente transformadas nos produtos desejados. O beneficiamento final envolve uma série de processos e operações que visam produzir os produtos finais a serem aplicados nas diversas utilizações de rocha ornamental, a partir do processamento de chapas, espessores e tiras obtidos no beneficiamento primário.

Na etapa de beneficiamento primário são obtidos os seguintes produtos: chapas em bruto, espessores em bruto, tiras em bruto. As chapas são obtidas fundamentalmente pelo processamento dos blocos em teares multilâminas e teares multifio diamantado. Os espessores são produzidos preferencialmente em teares monolâmina, monodisco e monofio diamantado. Finalmente as tiras são

produzidas nos equipamentos tipo talha-blocos multidisco diamantado.

Já no beneficiamento final são obtidos os diversos produtos a serem consumidos pelo setor de aplicação de rochas ornamentais nas suas diversas modalidades. Os processos envolvidos são de grande diversidade e variada complexidade envolvendo os processos de marmoraria, produção automática de ladrilhos, fabricação de objetos de arte e adorno, arte funerária e produtos rústicos para urbanização. Os principais grupos de produtos obtidos a partir do processamento de mármore e granitos para aplicação na indústria da construção civil são:

- Painéis para revestimento externo
- Ladrilhos para pavimentação
- Ladrilhos para revestimento
- Degraus e parapeitos
- Meio-fios, molduras e rodapés
- Mesas e bancadas para decoração
- Colunas
- Produtos especiais

Além desses produtos também são produzidos diversos outros produtos destinados a aplicação como objetos de adorno tais como estátuas, estatuetas, fontes, lareiras, etc. Também podem ser obtidos diversos objetos de artesanato mineral, feitos principalmente de sobras de marmorarias e pedreiras.

As rochas ornamentais podem ser diferenciadas em dois grandes grupos: rochas carbonáticas e rochas silicáticas. As rochas carbonáticas agrupam todas aquelas rochas cujo mineral essencial é o carbonato de cálcio ou magnésio. Entre essas se incluem os mármore, calcários, travertinos, etc. As rochas silicáticas agrupam todos os tipos de rochas graníticas e de composição essencial a base de silicatos. Entre elas temos os granitos, sienitos, basaltos, dioritos, rochas metamórficas, etc.

Além da diferença em termos de mineralogia essencial esses dois grupos de rochas ornamentais apresentam sensíveis diferenças com relação às suas propriedades físicas e geomecânicas. As rochas silicáticas em geral possuem propriedades físicas e resistência mecânica bem superior às rochas carbonáticas, o que condiciona a aplicação de determinados tipos de processamento diferencialmente entre esses dois grupos.

As rochas silicáticas, em função de sua maior resistência ao corte e abrasividade não é adequada ao processamento em determinados tipos de equipamentos, ou determina um rendimento no mesmo muito inferior aquele obtido nas rochas carbonáticas, por exemplo, o corte com fio diamantado. O equipamento padrão para o desdobramento de rochas silicáticas é o tear multilâminas a granalha e o talha-bloco multidisco diamantado. Para o desdobramento de rochas carbonáticas temos uma gama muito maior de equipamentos entre os quais podemos citar como mais aplicados o tear multilâminas a granalha, tear multilâminas diamantado, tear multi-fio diamantado, tear monolâmina diamantada e monodisco diamantado e tear monofio diamantado.

DESDOBRAMENTO DE BLOCOS (BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO)

O beneficiamento primário, também chamado de serragem ou desdobramento, constitui-se no corte de blocos e é a primeira etapa do processo de beneficiamento de rochas ornamentais. Nessa etapa os blocos são cortados em chapas, tiras ou espessores, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais.

Essa é uma etapa essencialmente industrial e envolve a aplicação de uma série de equipamentos entre os quais destacam-se os teares, os talha-blocos de disco diamantado e as máquinas de corte com fio diamantado. Existem três métodos ou tecnologias para o beneficiamento primário: corte com tear de lâminas, corte com talha-blocos de discos diamantados e corte com fio diamantado. Cada uma dessas modalidades apresenta grande variedade de equipamentos, seguindo diversos princípios de funcionamento e variações construtivas que os identificam individualmente. A aplicação de um tipo ou outro de equipamento é função principalmente do tipo de produto intermediário que se deseja obter: chapa, espessor ou tira.

O processo de corte por meio de discos diamantados se dá pelo atrito entre os segmentos sinterizados com grãos de diamantes, fixados na borda de ataque do disco e o bloco de material e é resultante da conjugação dos movimentos de rotação dos discos e translação do mandril, onde estão fixados, com sucessivas passagens com pequenos e intermitentes movimentos de descida do mandril.

Desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas a granalha (granitos – mármore)

O corte com tear de lâminas se dá pela ação de um elemento abrasivo conduzido por um conjunto de lâminas movimentado pelo tear. O tear é formado por uma estrutura de sustentação com quatro colunas, que suportam o peso do quadro porta-lâminas. As lâminas são dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco de material a ser beneficiado e tensionadas para manter um perfeito paralelismo durante o corte. Esse quadro é acionado por motor elétrico, com auxílio de um volante, que imprime um movimento alternado, responsável pelo atrito entre as lâminas, o elemento abrasivo e o bloco a ser cortado. Simultaneamente o conjunto quadro – lâminas é pressionado contra o

bloco em um movimento de descida (cala), provocando o corte do material.

O corte dos blocos com teares é amplamente difundido, independente do tipo de material a ser processado, sobretudo porque conjuga alguns fatores como maior flexibilidade produtiva, boa produtividade, custo relativamente reduzido e boa relação custo-benefício do investimento inicial. É o equipamento mais antigo embora tenha sofrido ao longo dos anos inúmeras inovações e melhorias em busca de melhor desempenho.

O processo de corte em tear pode ser representado por um fluxograma simplificado (figura 1), que apresenta os principais grupos de atividades envolvidas.

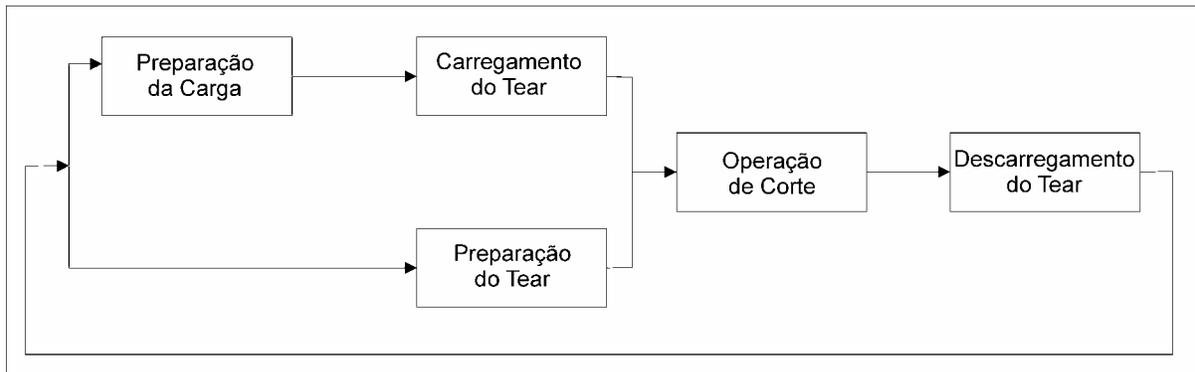


Figura 1 – Fluxograma simplificado do desdobramento em teares de lâmina

O tear utiliza para o corte lâminas múltiplas de aço com ajuda de uma mistura abrasiva composta por água, cal hidratada, granalha de aço ou ferro e pó de granito. A densidade correta e constante adição de granalha nova, cal e água ao sistema são a base da boa qualidade da serrada. Essa lama abrasiva percorre um circuito fechado

sendo bombeada continuamente banhando o bloco a ser cortado.

A figura 2 mostra uma ilustração de um tear de movimento pendular a granalha abrasiva juntamente com o sistema de poço e bombeamento da mistura abrasiva.

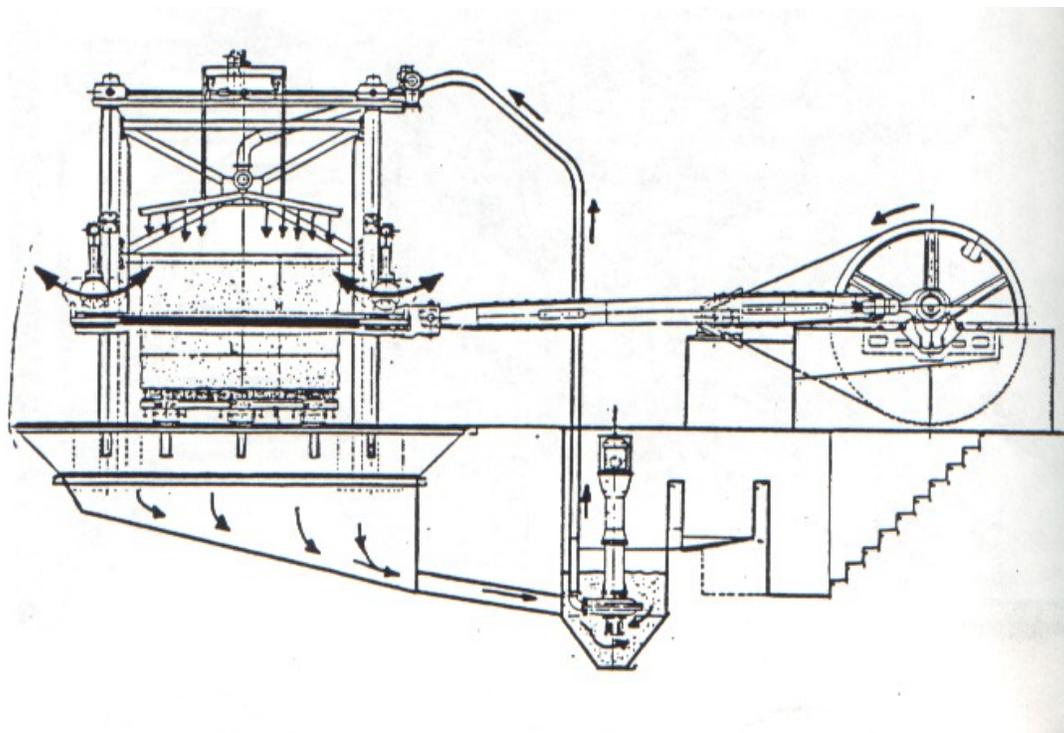


Figura 2 – Esquema de funcionamento de tear multilâminas a granalha

Desdobramento de rochas ornamentais em teares com lâmina diamantada (mármore)

Esse equipamento efetua o corte de rochas carbonáticas através da ação abrasiva de segmentos ou pastilhas de diamantes incrustados no gume inferior das lâminas, formando uma espécie de serra acionada em um movimento de vaivém e da descida do quadro porta-lâminas sobre o bloco. Durante o processo, o bloco e o conjunto de lâminas são constantemente banhados por água que funciona como

líquido de refrigeração e de limpeza e expurgo do material desagregado no corte.

Os modelos disponíveis no mercado podem ser divididos em dois grupos: monolâmina e multilâminas. Os primeiros são indicados para o esquadrejamento de blocos e produção de espessores e podem ser encontrados com 1 ou 2 lâminas.

A figura 3 mostra um equipamento de corte tipo tear monolâmina.



Figura 3 – Tear monolâmina diamantada

Os teares multilâmina diamantadas, indicados para a produção de chapas brutas de espessura entre 20 e 30 mm, tem a sua aplicação amplamente utilizada para o corte de rochas calcáreas e similares, sobretudo pelos enormes ganhos em produtividade que proporciona e pela melhor qualidade das chapas produzidas.

A máquina utiliza lâminas de aço especial sobre as quais são soldados

segmentos diamantados. Para a operação de corte é utilizada água industrial para resfriamento das lâminas e eliminação de materiais extraídos dos segmentos diamantados e fragmentos do material cortado. A velocidade de cala é medianamente elevada, por se tratar de material relativamente macio, situando-se ao redor de 12 a 16 cm/hora.

A figura 4 mostra um tear multilâminas diamantado.



Figura 4 – Tear multilâminas diamantadas

Desdobramento de rochas ornamentais em talha blocos multidisco

Os talha blocos de disco diamantado são equipamentos que possuem uma estrutura de sustentação formada por colunas metálicas ou base em concreto, que sustentam uma trave ou ponte onde está disposto o mandril com o conjunto de acionamento dos discos. Os talha blocos são basicamente de dois tipos:

- Talha blocos monodisco com disco de grandes dimensões
- Talha blocos multidiscos

Estes equipamentos são de uso mais recente e menos difundido do que os teares, sendo adequados para fins mais específicos (produção de ladrilhos padronizados). Os talha blocos podem produzir chapas de grandes dimensões, com espessuras normalmente maiores do que 20 mm, no caso dos talha blocos monodisco de grande dimensões, e tiras com largura entre 300 e 640 mm e espessura a partir de 10 mm, no caso de talha blocos multidisco.

O talha blocos monodisco são máquinas de grande dimensão que utilizam um único disco, construídas inicialmente para o esquadreamento dos blocos de granito. Atualmente são utilizados para produção de chapas de maior espessura, superiores a 30 mm (espessuras). O equipamento utiliza discos diamantados de grande diâmetro (acima de 350 cm), podendo chegar até a 500 cm. Estes equipamentos conseguem cortar até uma profundidade entre 120 e 160 cm e são bastante difundidos em países como Estados Unidos, Alemanha, Bélgica e países nórdicos.

O talha blocos é montado numa ponte que se movimenta sobre uma base de concreto reforçado ou estrutura metálica. O disco corta a cada passagem do carro, sendo que o movimento de recuo e avanço do mandril ao longo da ponte e sua descida progressiva em cada passagem durante o processo de corte completamente automático. Na figura 5 vemos um exemplo de equipamento tipo talha blocos monodisco.



Figura 5 – Talha blocos monodisco para obtenção de espessuras

O talha blocos multidiscos é empregado tanto para o corte de granitos como de mármore e destina-se a produção de tiras de larguras específicas, determinadas pela dimensão final que deve ter o produto e pelo diâmetro do disco.

Existem dois tipos de talha blocos multidiscos mais difundidos: o talha blocos de duas colunas e o de quatro colunas, ambos possuindo o mesmo princípio de funcionamento, que consiste na ação de um conjunto mandril com diversos discos diamantados sobre o bloco, através de movimentos de rotação dos discos e translação do conjunto mandril. Dessa forma os discos executam cortes verticais e paralelos em uma ou várias passagens do mandril, dependendo da profundidade de corte desejada. A profundidade máxima possível é de cerca de 1/3 do diâmetro do disco.

O processo de corte da tiras é complementado por um corte horizontal que permite destacar a tira do bloco. O corte é feito com um disco diamantado de diâmetro variável, entre 400 e 725 mm, que opera no plano horizontal.

O número de discos de corte verticais varia de pouco mais de 20 até acima de 50, sendo mais difundidos os talha blocos com número de discos entre 30 e 40.

Os modernos talha blocos possuem instrumentos e dispositivos de automação e controle das operações que permitem automatização quase completa do processo, com a mínima intervenção de mão-de-obra, proporcionando, além de maior segurança e uniformidade de produção, uma produtividade média em torno de 8 m²/hora para granitos de dureza média e até 20 m²/hora ou mais para mármore. A figura 6 ilustra um talha blocos multidiscos de grande capacidade de produção.



Figura 6 – Talha blocos multidiscos diamantados de 2 colunas

Desdobramento de rochas ornamentais com fio diamantado

A tecnologia de serragem com uso de fio diamantado é a mais recente das disponíveis atualmente e encontra-se em um estágio com possibilidades de grandes avanços no seu desempenho.

O processo de corte com fio ocorre pela ação abrasiva dos anéis ou pérolas com grãos de diamante, que são dispostos ao longo do fio. Este funciona como uma espécie de serra fita que gira a determinada velocidade e é tensionado sobre o bloco. O fio em contato tensionado com o bloco e girando a alta velocidade de translação, circula o bloco e executa o corte conduzido e tensionado por um sistema de polias e acionado por motor elétrico.

Os equipamentos para corte com fio diamantado são basicamente todos

iguais. Trata-se de um equipamento de construção mais simples que os teares e os talha blocos. A máquina de corte com fio diamantado ou monofio constitui-se basicamente de um conjunto de polias acionadas por um motor, que imprimem determinada velocidade e tensionamento ao fio, montado e instalado em circuito fechado em torno do conjunto de polias. Alguns fabricantes já tornaram disponíveis modelos que permitem o corte programado em curva, o que possibilita a execução de cortes em formas e desenhos antes inimagináveis com outros equipamentos.

Essa tecnologia de corte é empregada basicamente no esquadrejamento de blocos, no corte de espessores ou de peças curvas para colunas, jardins, bancos, etc. A figura 7 ilustra um máquina monofio diamantado para cortes em qualquer direção, inclusive em curva.



Figura 7 – Monofio diamantado para beneficiamento de rochas ornamentais

A evolução dessa tecnologia fez surgir nos últimos anos modelos de máquinas para desdobramento de blocos com a utilização de um sistema multipolias, onde então pode-se cortar

diversas chapas de rocha ornamental ao mesmo tempo. Esse equipamento ainda está em desenvolvimento e é ilustrado na figura 8.



Figura 8 –Tear multifio diamantado para corte de blocos

TRATAMENTO SUPERFICIAL DE CHAPAS EM BRUTO

Os tipos de acabamento superficial normalmente especificados para os produtos de rochas ornamentais são o levigamento, o polimento, o jateamento, a flamagem e o apicoamento, sendo o mais amplamente utilizado o polimento ou lustro.

O acabamento superficial é uma etapa extremamente importante e fundamental para explorar as características estéticas relativas à coloração, textura e beleza do material. O material na sua forma bruta e com rugosidade superficial apresenta características cromáticas específicas, conferidas pela natureza e formação da rocha que diferem completamente das diversas nuances de coloração e textura que o material pode apresentar, através de diversos tipos de rugosidades de sua superfície.

Cada um desses tipos de acabamento é realizado por um processo específico, mas não necessariamente por equipamentos distintos. Por exemplo, o levigamento e o polimento são realizados por um mesmo tipo de equipamento assim como o apicoamento e a flamagem são executados por outro equipamento comum, somente com o uso de ferramentas e insumos específicos.

Jateamento com Areia

O jateamento com areia consiste no tratamento superficial de chapas brutas serradas utilizando um jato de água e areia sob alta pressão. A ação abrasiva da areia silicosa permite a obtenção de uma superfície levemente áspera e opaca um bom resultado estético.

Levigamento e Polimento

O levigamento pode ser definido como um processo de tratamento superficial ou por abrasão mecânica que produz uma superfície perfeitamente plana mas sem qualquer efeito de reflexão de luz. O mesmo pode ser considerado com a etapa inicial do polimento ou lustro dos produtos ornamentais.

O polimento ou lustro é definido como tratamento superficial da superfície da rocha através de abrasão mecânica ou uma combinação de abrasão mecânica e adição de ácidos (mármore), que permitem a obtenção da máxima qualidade de reflexão de luz da rocha processada.

O processo de polimento tem como objetivo conferir à superfície do material brilho e lustro, que realcem a coloração dos diferentes minerais presentes no material. O brilho e o lustro

são obtidos pela eliminação da rugosidade presente na superfície da rocha e pelo fechamento dos “poros” entre os diferentes minerais. Isso é feito pela ação de elementos abrasivos que são friccionados sobre a superfície do material, desbastando-o até atingir o grau de polimento desejado, através do uso de abrasivos de granulometria decrescente.

Tanto o polimento como o levigamento são executados por equipamentos denominados politrizes, disponíveis em diversas configurações e modelos, desde máquinas manuais até linhas totalmente automatizadas. Existem três tipos básicos de politrizes:

- Politrizes manuais de bancada fixa: muito empregadas em marmorarias pequenas, com baixa volume de produção. A figura 9 ilustra um desses equipamentos.

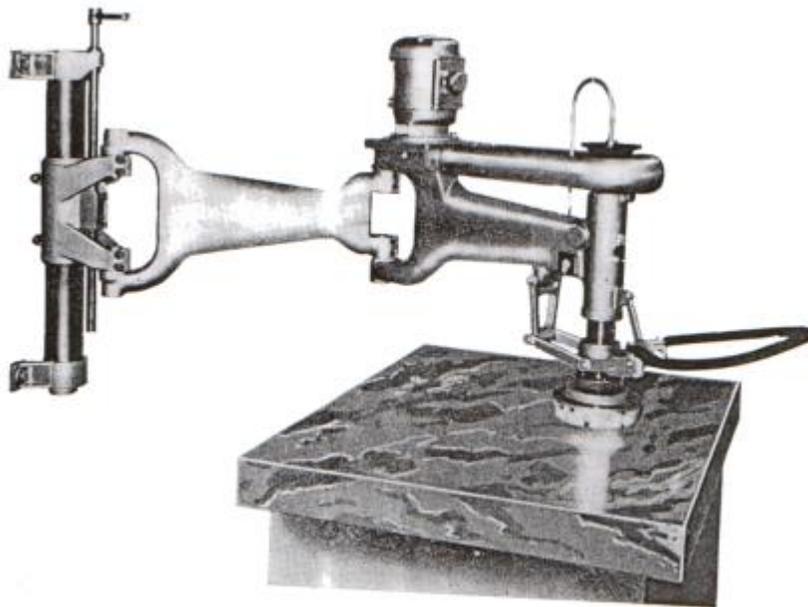


Figura 9 – Politriz manual de bancada fixa

- Politrizes de ponte móvel e bancada fixa: equipamento constituído de uma ponte, montada sobre trilhos suspensos, que sustenta o conjunto motor e os rebolos abrasivos, e uma

bancada de concreto sob a ponte onde é posicionada a chapa de rocha a ser polida, conforme ilustrado na figura 10.



Figura 10 – Politriz de ponte móvel e bancada fixa

- Politriz multicabeças com esteira transportadora: são máquinas mais modernas e funcionais desenvolvidas para o polimento de chapas e tiras de granitos e mármore. A máquina é constituída de uma esteira central por onde a rocha a ser polida é

transportada, passando por uma série de cabeçotes onde são colocados os elementos abrasivos em seqüência decrescente de granulometria, como ilustra a figura 11.



Figura 11 – Politriz automática multicabeças com esteira transportadora

Apicoamento

O apicoamento é o processo que submete a chapa ao impacto de um martelo pneumático de percussão, com uma ferramenta específica em sua extremidade que, dependendo do seu desenho, confere um tipo específico de rugosidade e conseqüentemente uma aparência deferente à superfície trabalhada. O impacto da ferramenta

sobre a superfície causa pequenos fragmentos de material, obtendo-se assim geralmente um acabamento áspero e opaco. Os materiais assim obtidos são usados geralmente para pavimentação externa, revestimentos de fachadas, degraus e peças especiais. A figura 12 ilustra um tipo de equipamento utilizado tanto para apicoamento como para flamagem.



Figura 12 – Equipamento para apicoamento e flamagem de rochas ornamentais

Flamagem

A flamagem é obtida através de um processo de choque térmico a que o material é submetido, mediante uma chama de alta temperatura (cerca de 3.000° C) dirigida a sua superfície,

seguida, instantaneamente, de um resfriamento com água. Esse choque térmico provoca uma espécie de descamação e vitrificação da superfície, conferindo-lhe um aspecto bastante particular. A figura 13 ilustra o princípio de operação na flamagem.



Figura 13 – Processo de flamagem de rocha ornamental

A flamagem, além de ser um acabamento superficial que resulta num aspecto estético especial, também aumenta a resistência da superfície do material a agressão química, sobretudo a poluição ambiental.

BENEFICIAMENTO FINAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Como beneficiamento final consideram-se todas as tecnologias e processos que conferem as características dimensionais, de conformação e especificação do produto final. Assim estão reunidas neste estágio do ciclo de fabricação dos produtos de rochas ornamentais os processos de corte, que lhes conferem as dimensões, formatos e desenhos, os acabamentos de borda e outros especiais.

O corte e os acabamentos de borda são etapas do processo produtivo que atuam essencialmente na modificação da forma e nas dimensões dos diversos produtos para atender às especificações de aplicação desses materiais nos seus mais diversos campos.

Corte de Chapas

A operação de corte é realizada com a utilização de cortadeiras manuais

de bancada móvel, máquinas entestadeiras de corte transversal ou longitudinal e serras ponte, as quais executam o corte com a utilização de discos diamantados. Esses equipamentos são de construção relativamente simples, constituindo-se de um conjunto mandril porta-disco, suportado por algum elemento estrutural, acionado por motor elétrico em movimentos de rotação do disco e avanço do conjunto na execução do corte.

As cortadeiras manuais de bancada fixa são de ampla utilização nas pequenas e médias marmorarias, possuindo um ciclo de produção descontínuo e de pequeno rendimento operacional. São aplicadas para cortes de chapas principalmente para produtos não padronizados. A figura abaixo ilustra uma cortadeira manual de ampla utilização nas marmorarias.

As máquinas entestadeiras possuem uma esteira transportadora sobre a qual operam unidades de corte transversal e longitudinal e rolamento para a carga e descarga das chapas. Essas máquinas são utilizadas principalmente na fabricação de ladrilhos padronizados e personalizados de rocha ornamental. As figuras 14 e 15 apresentam os modelos de entestadeira transversal e longitudinal.



Figura 14 – Entestadeira para corte transversal de chapas



Figura 15 – Entestadeira para corte longitudinal de chapas

As serras ponte por outro lado operam sobre um banco móvel e o disco de corte opera sempre transversalmente realizando corte ortogonais ou inclinados. A mesa é móvel permitindo a essas máquinas uma maior flexibilidade em relação às outras máquinas e também a execução de cortes inclinados e cortes de polimento de grande espessura.

Essas máquinas se caracterizam por uma estrutura metálica que sustenta um mandril porta disco. Trata-se de uma ponte que se movimenta apoiada em trilhos tendo sob ela uma mesa, normalmente giratória, sobre a qual são dispostas as chapas a serem cortadas.

São equipamentos empregados para o corte de peças retangulares de tamanhos variados, e os mais modernos possuem mandril giratório que permite o corte em ângulo. A maioria dos modelos incorpora mecanismos de automação e controle como programação de movimentos e de dimensões do corte e alinhamento por raio laser.

As serras ponte utilizam discos de diâmetro acima de 500 mm, podendo realizar cortes em profundidades maiores, seja em espessores ou em chapas de espessura de 20 a 30 cm empilhadas. A figura 16 ilustra uma serra-ponte moderna com controle numérico.

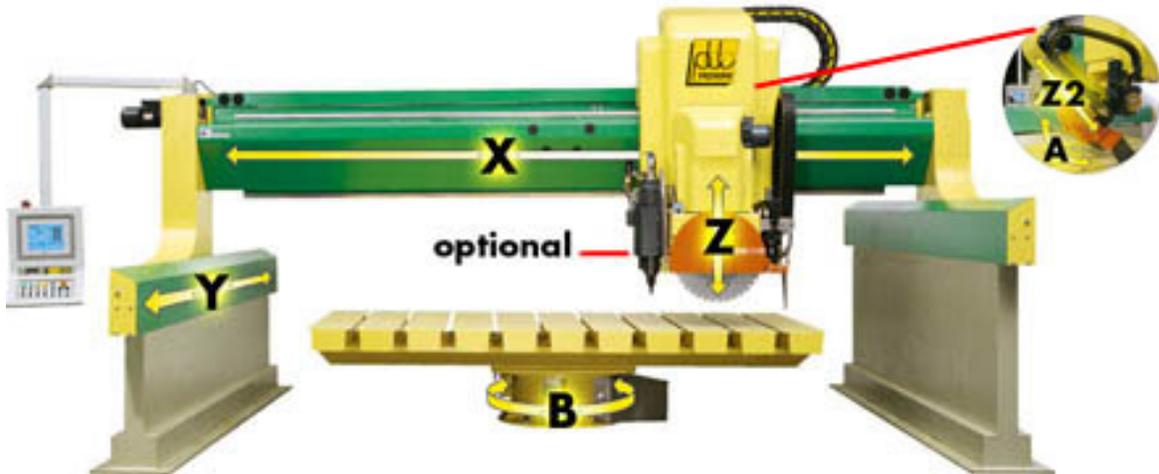


Figura 16 – Fresa ponte a controle numérico para corte de rochas ornamentais

Recentemente, a indústria de equipamentos de beneficiamento tornou disponível uma tecnologia de corte de chapas inovadora que é o corte com jato da água abrasivo. Esse processo de corte é realizado com um equipamento que gera um jato de água de alta pressão, que em conjunto com um elemento abrasivo disperso na água pode provocar o corte da rocha.

Com esse processo é possível a realização de cortes em desenhos e formas complexas, antes impossíveis de serem realizados pelos equipamentos tradicionais. Os equipamentos para corte

com jato de água são munidos de um sistema automático de programação que permite uma operação de corte completamente automatizada a partir de desenhos e formas previamente inseridas no sistema de programação de controle numérico. Devido ao alto custo de aquisição desses equipamentos, a tecnologia de jato de água somente é recomendada para aplicações muito específicas, cujo valor agregado possa remunerar devidamente o investimento realizado. A figura 17 ilustra um equipamento de corte por jato de água sob pressão.



Figura 17 – Equipamento de corte a jato de água sob pressão com controle numérico

Acabamento de Bordas

É o acabamento de bordas que confere o perfil e regularidade das extremidades das faces visíveis das peças, definindo suas formas e determinando seu aspecto e sua percepção visual como elemento ornamental. De um modo geral esse acabamento é utilizado para bordas de peças de escadas, batentes de portas e janelas, bancadas de pias, balcões, peças para móveis e painéis para revestimento interior ou exterior.

As possibilidades de desenho para bordas são praticamente infinitas. Os perfis mais simples mais usuais são possíveis de serem executados com equipamentos simples e portáteis como

lixadeiras manuais e com o uso de ferramentas diamantadas, que podem ser discos, fresas ou rebolos abrasivos. Normalmente esses são recursos utilizados pelas pequenas marmorarias para execução de peças sob encomenda em pequena escala como bancada de pias, batentes, soleiras, etc.

Para perfis mais elaborados assim como para produção em maior escala, exigem o uso de equipamentos mais sofisticados, como as fresadoras automáticas, e de ferramentas especiais também confeccionadas com diamantes, e com desenhos específicos para cada tipo de perfil. A figura 18 ilustra alguns tipos de acabamentos de borda disponíveis para aplicação em rochas ornamentais.



Figura 18 – Exemplos de modelos para aplicação de bordas em rocha ornamental

Atualmente existem equipamentos para esse fim que atuam como verdadeiros “centros de usinagem” de rochas, capazes de produzir os mais diversos tipos de produtos a partir da chapa com acabamento superficial. São equipamentos programáveis que

executam tarefas partindo de desenhos e instruções pré-estabelecidas por sistema de programação e controle numérico. A figura 19 ilustra um desses equipamentos automáticos de acabamento de bordas e usinagem.



Figura 19 – Centro de usinagem a controle numérico para corte de rochas ornamentais

Além desses equipamentos existem também fresadoras mais simples que funcionam como copiadoras pantográficas e realizam operações de acabamento a partir de um molde, cujo desenho é reproduzido na chapa trabalhada. Algumas dessas máquinas são polivalentes realizando diversas operações como a furação, corte e acabamento de borda, com a simples troca de mandril ou ferramenta de corte.

DESAFIOS PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO SÉCULO XXI

Eleana Patta Flain

¹Prof^a. FAU- Universidade Mackenzie, Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP, Prof^a. Elegida – ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Dep. de Infra - Estrutura Aeronáutica, Prof^a. da Poli – USP – 1991 até 1996, Chefe de Departamento de Técnicas de Arquitetura – FAU Mackenzie – de 1999 até 2003, Prof^a. Convidada Mestrado Profissionalizante IPT, Membro do CE 02:105.45 – Revestimentos com Pedras, na ABNT, desde 1991.

Sabe-se que o Brasil ocupa um lugar de destaque na produção de rochas para revestimentos. Além disso, somos privilegiados com uma grande variedade de rochas, tanto do ponto de vista de suas características técnicas quanto de sua estética. Essa grande variedade tem servido como motivo para aumentar ainda mais a nossa experiência na tecnologia de uso e aplicação das rochas como materiais de acabamento.

Nos últimos anos tem se intensificado a preocupação dos profissionais do Setor de Rochas Ornamentais com a divulgação das rochas brasileiras. Isso é comprovado pela realização de eventos importantes que tem sido organizados conjuntamente por Institutos de Pesquisas, Universidades e pelo Setor Privado.

Observa-se que nesses eventos tem aumentado cada vez mais a participação do meio técnico, acadêmico e empresarial. Isso também comprova que está havendo evolução do Setor, no estudo e na divulgação de trabalhos técnico-científicos sobre as rochas brasileiras.

No último evento, o I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais e II Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais que ocorreram em Guarapari – ES de 20 a 23 de fevereiro de 2005 foram discutidos e apresentados, por profissionais da área, diversos aspectos importantes do Setor de Rochas Ornamentais.

Além disso, há muito tempo pesquisadores de diversas entidades, sejam federais, estaduais e privadas, têm feito um

grande esforço e colaborado com o setor para aumentar o conhecimento das propriedades físico-mecânicas das rochas brasileiras. Podemos citar, por exemplo, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, através de seus renomados pesquisadores, coordenou e colaborou para o desenvolvimento de Catálogos de Rochas de diversos Estados brasileiros. Entre esses: São Paulo, Goiás, Bahia e Espírito Santo. Além desses catálogos podemos citar os do Estado de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, cuja existência se deve ao empenho de seus pesquisadores e, também, como os demais ao apoio dos órgãos do Governo, seja Federal ou Estadual, como por exemplo: das Secretarias de Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia, do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, entre outros.

A elaboração desses catálogos favorece o setor no sentido de se ter maior conhecimento das reais propriedades físico-mecânicas das rochas. Isso facilita o entendimento do comportamento dos materiais rochosos disponíveis no mercado nacional.

No entanto mesmo diante desse quadro evolutivo e otimista do Setor de Rochas para Revestimentos ainda ficam algumas questões para uma reflexão pelos profissionais da área. Tais questões são:

- como aumentar o consumo interno de rochas para revestimentos. São muitos os comentários sobre o ritmo da Construção Civil que deveria se “aquecer”. No entanto, se observarmos vários Bairros de Classe Alta em SP, por exemplo, percebe-se uma grande quantidade de edificações que foram executadas nesses últimos dez anos e que foram revestidas com outros materiais que não os rochosos.

- como e o que fazer para que as rochas sejam competitivas com outros materiais de acabamento? Já que temos disponibilidade de uma diversidade de materiais rochosos que competem com os de muitos países desenvolvidos e possuímos profissionais capacitados no setor.

- quais as soluções para o setor ser competitivo do ponto de vista tecnológico e de aplicação?

- já que não existe rocha inadequada e sim mal especificada ou mal aplicada, o que os órgãos do setor

têm feito para evitar que as suas rochas sejam especificadas e aplicadas inadequadamente?

- o que os órgãos competentes podem fazer para o incentivo da especificação e uso adequado das rochas como revestimentos?

- quais medidas o setor empresarial poderá adotar para que o seu material rochoso seja especificado e aplicado corretamente? Como “acompanhar” o seu material desde a extração até a etapa de uso e manutenção?

Acredito que estes sejam alguns dos grandes desafios para o Setor de Rochas Ornamentais brasileiro, no Século XXI, sendo, também, grande motivação para a continuidade da evolução do setor, principalmente através da realização de um maior número de eventos objetivando o aumento da qualidade no uso das rochas ornamentais brasileiras como material de acabamento.

TECNOLOGIA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS COM PEDRAS NATURAIS

Engº Luiz Sergio de Oliveira Ferreira

Av. Evandro Lins e Silva, 840 - sl. 1905 - Barra da Tijuca
22631-470 - Rio de Janeiro- RJ
Tel.: (21)24912919
Telefax: (21) 21782498
e.mail: aldan@aldantecnologia.com.br

INTRODUÇÃO

Pedra tem sido usada como material de construção por milhares de anos. Antigamente as estruturas eram construídas com blocos de pedra. Desde o começo do século pedra tem sido usada para revestir estruturas de concreto e aço, e alvenarias. A espessura da pedra usada naquela época variava de 4" (10 cm) a 8" (20 cm). No início dos anos 60 a espessura das pedras para revestimento de fachadas começou a diminuir. Hoje a espessura comumente usada para fachadas é de 30 mm e em alguns casos 20 mm.

O desenvolvimento para a utilização de placas mais finas em fachadas não foi associado a um aumento do conhecimento das propriedades da pedra trazidas à luz em pesquisas. Pelo contrário, esta redução de espessura ocorreu pelos seguintes motivos:

1. Tecnologia foi desenvolvida para fabricar e manusear painéis mais finos.
2. Uma análise racional foi usada em lugar de uma análise empírica para se projetar a fachada
3. Economia na construção era obtida.

Quando painéis de espessuras finas (2 ou 3 cm) são usados sem o total conhecimento e controle da pedra,

problemas que incluem fissuras, deslocamentos, fraturas e colapso podem ocorrer na pedra da fachada. Comumente estes tipos de problemas ocorrem nas conexões dos painéis, o que nos mostra a necessidade de se tratar os cálculos das conexões do mesmo modo que os cálculos de flexão da pedra.

Um programa de testes é um instrumento importante para minimizar problemas em fachadas. Este programa pode ser dividido em três fases:

TESTES INICIAIS

O propósito desta fase é obter informações relevantes sobre as propriedades de uma determinada pedra que pode vir a ser usada na construção. A pedra atualmente é projetada em bases racionais do mesmo modo que outros materiais como aço e concreto.

O projetista precisa conhecer as propriedades da pedra para proceder esta análise racional.

As pedras naturais para revestimento de fachadas são freqüentemente escolhidas levando-se em conta seus efeitos estéticos, durabilidade ao tempo, e baixo custo de manutenção. Entretanto, estas vantagens podem ser eliminadas devido a um

insuficiente cuidado no dimensionamento de juntas, conexões e sistemas de fixação, e ao pouco conhecimento e entendimento das propriedades e comportamento dos materiais envolvidos no revestimento da fachada.

O conhecimento das propriedades físicas da pedra é o ponto de partida para o dimensionamento e desenvolvimento de um projeto de fachadas. Para se conhecer estas propriedades devem ser executados os seguintes testes segundo as normas da ASTM/ABNT:

Ensaio e análises para caracterização tecnológica das rochas do Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil, normas adotadas e equivalentes internacionais		
ENSAIO	NORMA ADOTADA	NORMA INTERNACIONAL EQUIVALENTE
Análise petrográfica	ABNT NBR 12.768	EN 12407 ASTM C 295
Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água (Índices Físicos)	ABNT NBR 12.766	ASTM C97 EN 1936 ASTM C121 (ardósias)
Compressão uniaxial	ABNT NBR 12.767	ASTM C170 EN 1926
Congelamento e degelo	ABNT NBR 12.769	EN 12371
Flexão (em 3 pontos) ou módulo de ruptura	ABNT NBR 12.763	ASTM C 99 EN 12372
Flexão (em 4 pontos) ¹	-	ASTM C 880 ASTM C120 (ardósias)
Dilatação térmica linear	ABNT NBR 12.765	ASTM D 4535 ASTM E 228
Desgaste abrasivo ²	ABNT NBR 12.042 (Amsler)	ASTM C241 (tráfego de pedestres) ASTM C 1352 (Taber)

Nota: EN = European Standard

¹ O ensaio de flexão efetuado nas ardósias do Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil foi o ASTM C 880.

² A despeito de terem a mesma finalidade, os resultados desses ensaios não são comparáveis.

TESTES NA FASE DE PROJETO

Esta fase de testes é realizada para estabelecer as cargas apropriadas de projeto e para verificar que o projeto está adequado.

O projeto de revestimento de uma fachada começa com a definição das dimensões e configuração dos painéis e da dimensão das juntas entre placas. Com esta definição e o conhecimento das propriedades físicas da pedra, carga de vento, variação de

temperatura, e outras informações pertinentes é elaborado o projeto estrutural de revestimento da fachada.

Devem ser realizados os seguintes testes para se verificar que o projeto das placas e suas conexões podem suportar as cargas previstas com os devidos coeficientes de segurança.

Teste de túnel de vento

Este teste deve ser realizado para se determinar a carga de vento de projeto em fachada de edifícios de grandes alturas, em edifícios especiais, em edifícios com forma não usual, e em edifícios de altura moderada em áreas onde altas cargas de vento são previstas. Mesmo com as informações dos testes do túnel de vento, as cargas mínimas de vento previstas nas normas técnicas para cada região devem ser observadas.

Testes nas conexões estruturais

10 amostras de cada conexão típica com o acabamento e espessuras especificados devem ser testadas.

Teste em protótipo

Dependendo do tipo da construção, porte da obra, etc., deve ser executado um protótipo de parte da fachada incluindo janelas, painéis de granito, conexões, selantes, etc. Normalmente, este protótipo é executado retratando no mínimo dois pavimentos e é testado para confirmação de todas as situações previstas em projeto.

TESTES DURANTE A CONSTRUÇÃO

Esta fase de testes é realizada para assegurar que a pedra com as propriedades estabelecidas no projeto é a entregue na obra, e para estabelecer os ajustes práticos para a qualidade da construção.

Durante a fase de construção devem ser realizados testes na pedra para se confirmar que o material fornecido atende ou excede os limites especificados em projeto. Deve ser executado testes de:

- Resistência à Flexão - ASTM C 880 - no mínimo de 10 amostras (5 amostras no plano paralelo e 5 no plano perpendicular,

todas com a espessura e acabamentos especificados) em cada décimo bloco extraído para o projeto.

PROPRIEDADES ESTRUTURAIS DA PEDRA

Para se entender o processo de testes é importante observar a única característica da pedra comparada a outros materiais usados em estruturas.

- A pedra é dura e pouco flexível em vez de dúctil.
- A pedra é um produto da natureza e, como tal, apresenta grande variação de suas propriedades.
- A pedra perde resistência como resultado de sua exposição ao meio ambiente.
- A pedra tem diferentes resistências em diferentes direções.
- A resistência da pedra é afetada pelo acabamento de sua superfície e por estar a pedra molhada ou seca.

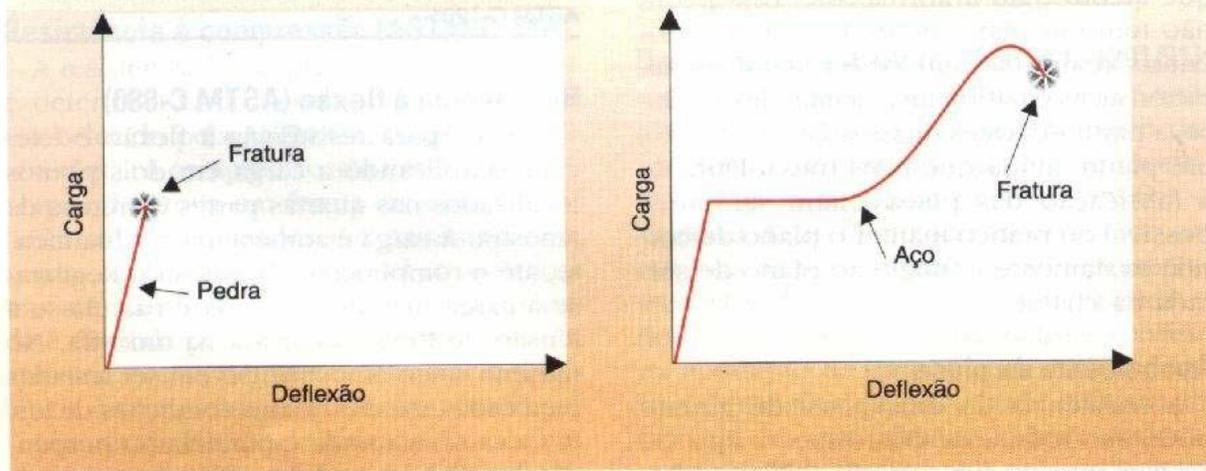
O homem pouco pode fazer para alterar as propriedades básicas da pedra usada para construção. Entretanto, podemos obter uma série de propriedades que são importantes para o desenvolvimento de um projeto por meio de testes apropriados.

Flexibilidade

A pedra é dura e pouco flexível.

A maioria dos outros materiais utilizados para estrutura das construções são flexíveis. O comportamento de materiais dúcteis e não flexíveis é ilustrado na Fig. 1. O comportamento dos materiais não flexíveis é menos previsível que os dúcteis.

Fig. 1 Comparação entre o material aço (dúctil) e o material pedra (duro)



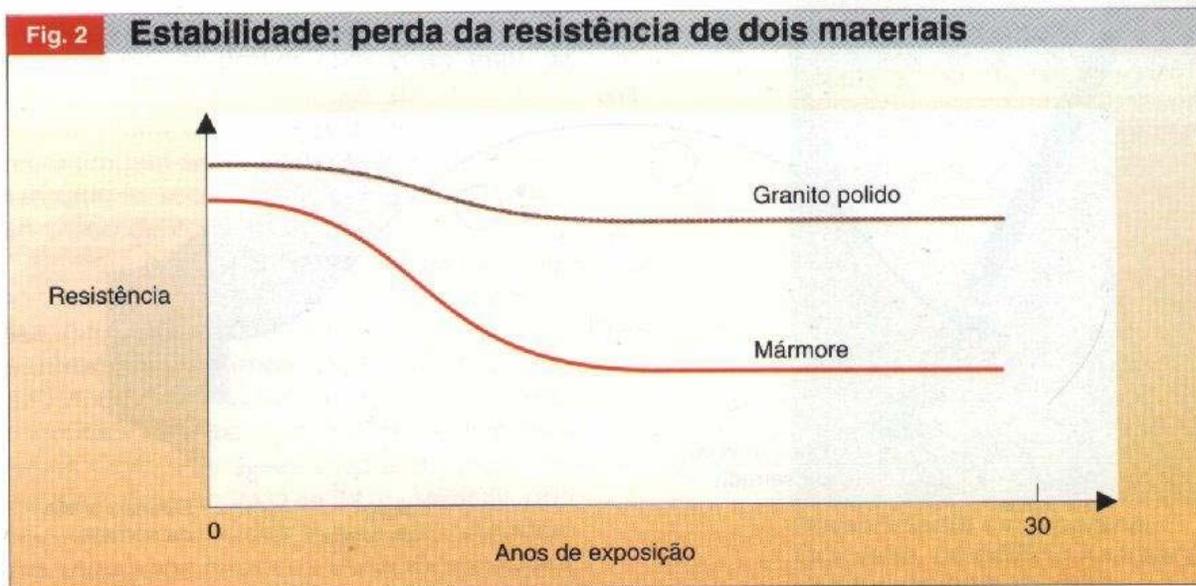
Quando o material não flexível atinge sua capacidade máxima de carga, ele se fratura rapidamente sem aviso. Por comparação, um material flexível após atingir o ponto de escoamento continua a alongar-se com pouco ou nenhum acréscimo de carga. Desta forma, ele ganha uma resistência adicional antes de fraturar. A fratura de um material flexível ocorre com uma carga bem acima do escoamento. O Alongamento entre o escoamento e a fratura permite um aviso antecipado antes da fratura, porém mais importante ainda, permite que a estrutura redistribua a carga e forme novos mecanismos para suportar a carga. Materiais não flexíveis não têm esta capacidade.

Durabilidade

Muitas vezes pensamos na pedra como sendo muito durável e às vezes que durará para sempre, mas não é verdade. A pedra é afetada pelas forças da natureza.

Muitos tipos de pedras usadas nas construções perdem resistência após sua exposição a ciclos de congelamento e degelo, a ciclos de temperatura, e a exposição aos agentes químicos presentes na atmosfera.

A Fig. 2 mostra esquematicamente a variação da perda de resistência ao longo do tempo devido ao passar dos anos e exposição ao meio ambiente.



Testes realizados por Wiss, Janney, Elstner Associates - Chicago, IL. mostraram que um granito polido perde pouca resistência ao longo do tempo, que o mármore branco perde muita resistência, e que a perda de resistência de outras pedras, como os calcários (limestones), se situa entre o granito e o mármore.

A pedra é permeável e pode permitir que a água flua através dela, principalmente quando usada em placas muito finas. A textura da pedra: dimensão dos grãos, linearidade, e planos de dobramento, e alinhamento de microfissuras (cracks) podem afetar a resistência e durabilidade. O mais importante destes elementos é o plano de corrida da pedra.

Plano de corrida da pedra

Plano de corrida da pedra é definido pela ASTM como "... designando a direção na qual a pedra rompe mais facilmente". Esta direção de fácil separação acompanha a superfície, que é às vezes considerada como um plano.

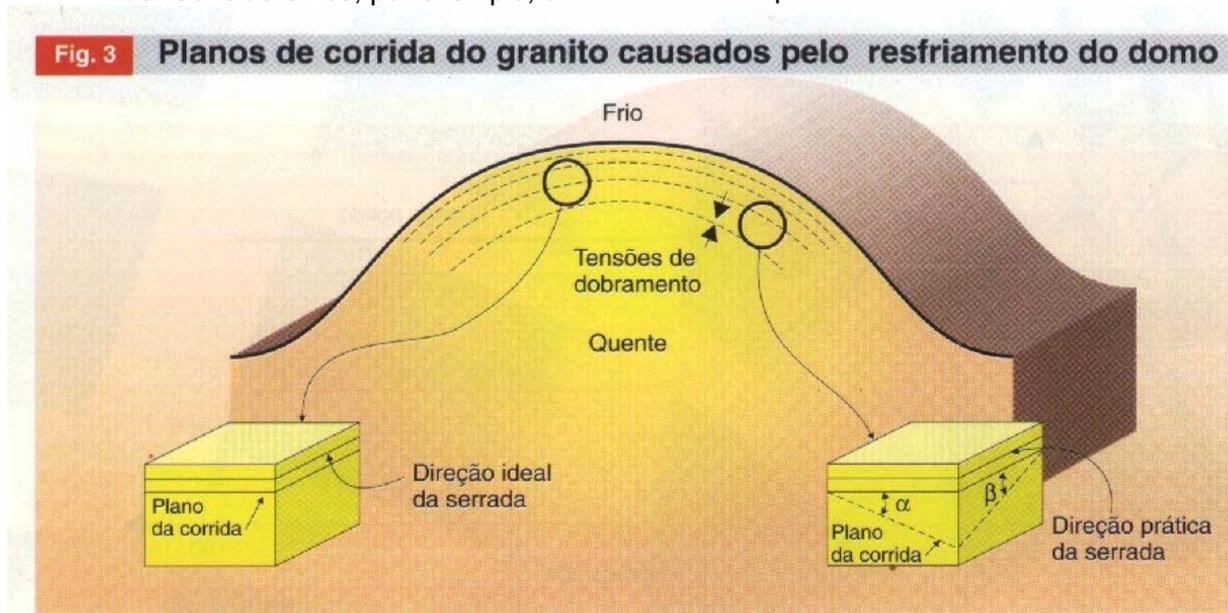
Este plano de fraqueza, a corrida, pode ter sido causada por vários fenômenos que incluem planos de dobramento e alinhamento de microfissuras.

- Planos de dobramento podem ocorrer em rochas sedimentares, como calcários (limestones) ou arenitos. A rocha sedimentar foi formada pelo depósito de sedimentos. Podemos considerar que estas camadas estejam na posição horizontal. Entretanto, distúrbios locais durante a deposição inicial ou movimentos da terra após a camada sedimentar ter sido formada pode ter causado com que este plano seja inclinado.
- Rochas metamórficas, como mármore, que são formadas pela transformação da rocha sedimentar sob efeitos combinados de calor e pressão, pode também ter um plano de corrida. O plano de corrida na rocha metamórfica pode ter sido causado pelo fraturamento devido a movimentos da terra; ação tectônica,

ou por planos de dobramento anteriores que não foram totalmente transformados.

- Rochas ígneas, como granito, podem conter tensões residuais decorrentes do resfriamento e podem conter microfissuras que ficaram alinhadas num plano. Normalmente considera-se as tensões residuais como estando alinhadas com a superfície livre. Consideremos, por exemplo, um

depósito de granito na forma de um domo, como mostrado esquematicamente na Fig. 3. O resfriamento será mais rápido próximo à superfície do domo. As tensões de tração causadas por este resfriamento rápido tenderão a acompanhar a superfície externa do domo. Para um grande domo a curvatura da superfície pode ser, naquele local, considerada como um plano.



O plano de corrida num bloco extraído próximo do topo do domo aparece como um plano horizontal. Se um bloco fosse extraído da parte inclinada do domo, o plano de corrida apareceria num plano oblíquo.

Recomenda-se para aplicação em fachadas que as placas a serem utilizadas sejam produzidas a partir da serrada de blocos no sentido paralelo ao plano da pedra. Desta forma o plano da pedra estará paralelo à parede e sua resistência à carga horizontal, perpendicular a ela, decorrente das pressões internas da construção e do vento será maior. Estas cargas produzem tensões de flexão na

placa, causando tração de um lado e compressão do outro.

As tensões de tração tendem a provocar o rompimento da pedra. A placa será mais resistente se as tensões de tração se dissiparem paralelamente aos planos da pedra ao invés de atravessá-la "... na direção na qual a pedra se rompe mais facilmente". Além disso, há evidências de que a perda de resistência à flexão da placa ao longo dos anos é maior através dos planos de corrida da pedra.

O projetista de fachadas deve ter total conhecimento quanto aos planos da pedra a

serem obtidos em relação às operações de jazida e serraria antes de estabelecer o programa de testes, de modo a incluir todos os parâmetros relevantes à realização destes testes.

Fique atento para esta afirmativa - "Esta pedra não tem um plano definido". Testes foram realizados em pedras em que estas afirmativas foram feitas e ainda assim um plano mais fraco foi descoberto a partir de testes de resistência à flexão.

Durante a fabricação, nem sempre é possível ou prático manter o plano de corrida exatamente paralelo ao plano de serrada da chapa.

ACABAMENTO DA PLACA

A resistência de uma placa de granito pode ser reduzida dependendo do tipo de acabamento de sua superfície.

Um acabamento muito utilizado é o flameado, entretanto, este produz microfissuras na pedra chegando algumas vezes a quase 3 mm de profundidade. Está comprovado em laboratório que este tipo de acabamento reduz a resistência à flexão da pedra em 30%.

Tipos de acabamento de pedras

Alguns acabamentos da superfície da pedra afetam sua resistência e durabilidade.

Polimento

O polimento da pedra por prover um melhor fechamento dos poros, ajuda a proteger a superfície da fachada da deterioração causada pelos agentes químicos presentes na atmosfera.

Apicoamento

Apicoamento e outros acabamentos similares reduzem a resistência teórica à flexão da placa em cerca de 20% e aumenta a deflexão elástica teórica da placa da fachada quando submetida às cargas de vento em aproximadamente 37% .

Flameamento

Testes realizados em laboratórios por WISS, JANNEY, ELSTNER ASSOCIADOS nos E.U.A. revelaram que os efeitos do acabamento flameado causaram uma redução na resistência à flexão de aproximadamente 30% em relação à resistência do material com acabamento polido.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO (ASTM C-880)

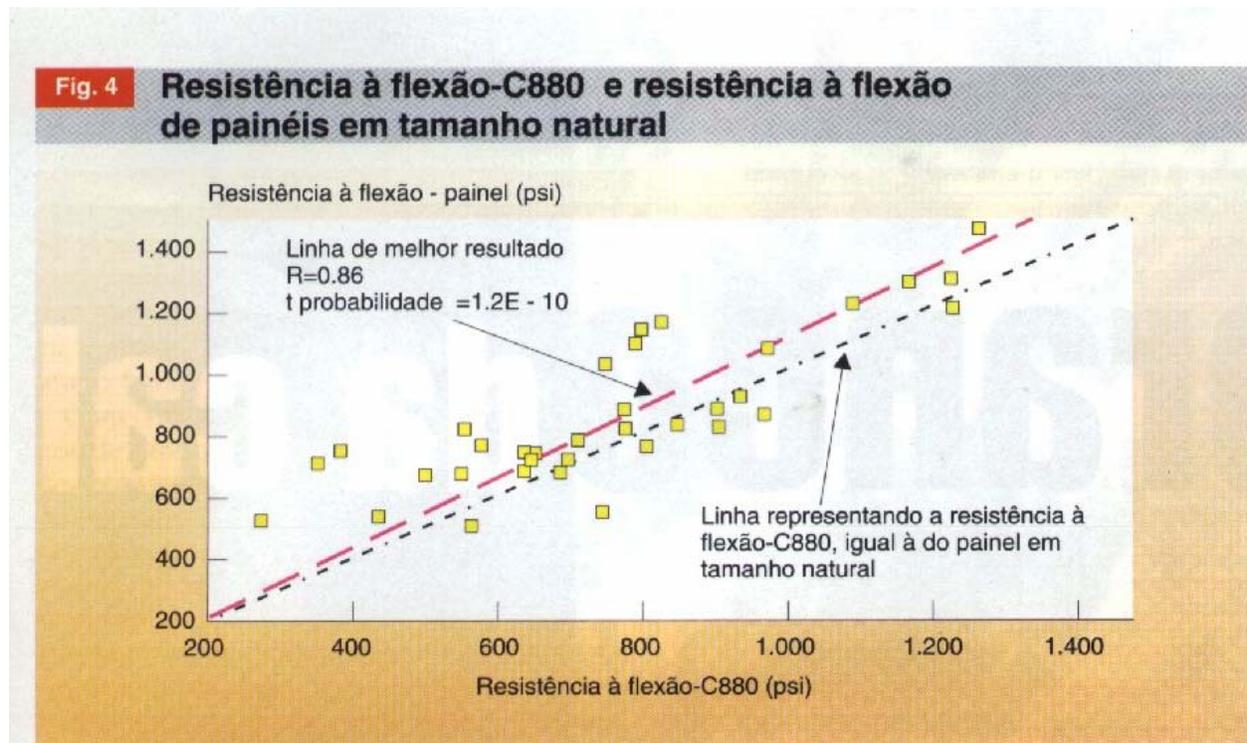
O ponto de partida para desenvolvimento do projeto estrutural de revestimento de fachadas em pedras naturais é a resistência à flexão. Este ponto de partida pode ser determinado procedendo-se ensaios de RESISTÊNCIA À FLEXÃO segundo a norma C-880 da ASTM.

O teste para resistência à flexão é executado aplicando-se a carga em dois pontos localizados nas quartas partes extremas da amostra. A carga é aumentada gradualmente até o rompimento da amostra. A carga máxima aplicada é registrada e a tensão de flexão ocorrida na amostra é calculada.

No mínimo cinco amostras devem ser testadas para cada uma das quatro condições de teste (seca ou saturada e paralela ou perpendicular ao plano de corrida da pedra).

A norma C-880 da ASTM permite o teste de pedras de várias espessuras. Requer que o comprimento do corpo de prova seja igual a 10 vezes a sua espessura e admite que o acabamento da face a ser tensionada seja o especificado no projeto arquitetônico.

Testes realizados nos E.U.A. classificaram como excelente a comparação dos resultados dos testes de resistência à flexão executados segundo ASTM C-880 e os executados em uma placa inteira, conforme demonstrado no gráfico 4.



Este gráfico compara os resultados dos testes de resistência à flexão executados em cerca de 40 amostras de painéis inteiros com os resultados obtidos de acordo à ASTM C-880, em corpos de prova extraídos da mesma chapa. O carregamento uniforme

nestes painéis foi feito por meio de vácuo e levado até a fratura da placa. A diagonal do gráfico representa um a um a relação entre os testes. Os pontos registrados no gráfico estão muito próximos da linha, indicando um resultado classificado como excelente.

MÓDULO DE RUPTURA (ASTM C - 99)

Por muito tempo o teste do módulo de ruptura - ASTM C-99 - tem sido usado para avaliar a resistência da pedra às pressões positiva e negativa geradas pelas cargas de vento.

A partir do resultado de um grande número de testes a ASTM, estatisticamente, estabeleceu como valor mínimo para o módulo de ruptura de resistência do granito 1.500 PSI ou 10,34 MPa.

Embora ambos os testes RESISTÊNCIA À FLEXÃO - ASTM C-880 - e MÓDULO DE RUTURA - ASTM C-99 - forneçam valores de resistência à flexão, eles são diferentes. A amostra para teste pela ASTM C-99 não leva em conta a espessura e o acabamento exterior da pedra a ser usada na fachada e apresenta uma alta componente de cisalhamento que torna a amostra rígida e não flexível, dando uma resistência aparente maior do que a resistência real de flexão.

O teste do Módulo de Ruptura - ASTM C-99 - não deve ser usado para fins de projeto.

No teste do Módulo de Ruptura o rompimento da amostra ocorre sob o qual a carga está sendo aplicada.

No teste de Resistência à Flexão o rompimento da amostra sob a carga aplicada nos pontos localizados nas quartas partes próximo às extremidades ocorrerá no seu ponto mais fraco entre os pontos de carga.

Os resultados obtidos pela ASTM C-880 permitem uma comparação melhor e mais precisa com os resultados dos testes à flexão de uma placa inteira do que os resultados obtidos pela ASTM C-99.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (C 170)

A resistência à compressão de uma pedra é determinada de acordo com o método estabelecido pela ASTM C 170. Os testes de resistência à compressão são executados em corpos de prova em forma de cubo ou cilindro. Os testes são realizados em máquinas calibradas aplicando-se carga sobre as amostras até fraturá-las. A carga máxima aplicada é dividida pela área de carregamento da amostra o que permite determinar a resistência à compressão da amostra testada.

Uma extensa série de testes realizados em granitos pelo National Bureau of Standards no E.U.A. constatou que os granitos podem ser menos resistentes ou mais resistentes quando testados saturados, dependendo do tipo de granito, e podem ser mais fracos ou mais resistentes quando testados com cargas aplicadas em amostras com planos paralelos ao plano de corrida. Face a dificuldade em

se prever com um certo grau de certeza em que condições de teste uma amostra nos dará sua resistência mínima, é recomendado que realizados testes nas quatro condições: saturado e seco, paralelo e perpendicular ao plano de corrida.

Embora o projeto estrutural normalmente não se baseie na resistência à compressão, é importante verificar se ela atende aos parâmetros mínimos especificados pela ASTM e se os valores apresentados estão coerentes com valores históricos.

Um projetista deve refletir seriamente antes de especificar uma pedra com as resistências previamente conhecidas e que não atendem os requisitos mínimos especificados pela ASTM.

ABSORÇÃO E PESO ESPECÍFICO (ASTM C 97)

Absorção e peso específico são determinados através de ensaios segundo a norma C 97 da ASTM. Neste teste as amostras são inicialmente secadas e pesadas, e a seguir imersos em água durante aproximadamente 48 horas. A amostra saturada é pesada ainda submersa e a seguir ao ar livre. Compara-se os valores obtidos nas três pesagens, seco, submerso e saturado, e calcula-se a quantidade de água absorvida e o peso específico.

Este teste é realizado em três amostras para cada tipo de pedra. Os corpos de prova têm as mesmas dimensões dos utilizados para se determinar a resistência à compressão e em caso de limitação da quantidade destes corpos de prova, eles poderão ser utilizados nos testes de compressão.

Testes de absorção e peso específico devem ser realizados para se comparar os resultados obtidos com os parâmetros mínimos especificados pela ASTM e para se confirmar que a pedra em questão tem no mínimo a mesma qualidade de outra do mesmo tipo já utilizada com sucesso no passado.

Embora alguns projetistas não levem em consideração os resultados destes testes para o desenvolvimento do projeto estrutural, os resultados destes ensaios são importantes para os cálculos de flexão da pedra.

DESEMPENHO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE REVESTIMENTO DE FACHADAS (ASTM C-1201-91)

O mais recente teste adotado pelo Comitê C 18 é o método de teste para determinar o desempenho estrutural do

sistema de revestimento da fachada sob pressões positiva e negativa de ar.

O procedimento de teste foi escrito em resposta às necessidades de se representar os efeitos das cargas de vento na superfície dos elementos da fachada.

O teste consiste na instalação de uma amostra nas mesmas dimensões da placa a ser utilizada na fachada em uma câmara de teste perfeitamente vedada. A câmara é pressurizada ou despressurizada para produzir uma pressão uniforme na placa, simulando o efeito da pressão do vento. A deflexão da amostra é medida.

Procedimentos de teste e deflexões limites são especificados no projeto preliminar.

NORMAS EM DESENVOLVIMENTO PELA ASTM

O Comitê C 18 da ASTM está desenvolvendo dois novos tipos de testes; um para simular a durabilidade da pedra exposta ao meio ambiente e outro para determinar a resistência do sistema de ancoragem mecânica.

TABELA 1 - Parâmetros mínimos para dimensionamento de pedras / ASTM

TABELA I - PARÂMETROS MÍNIMOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PEDRAS (ASTM)

TIPO DE PEDRA	RESISTÊNCIA À FLEXÃO C880 (psi/MPa)	MÓDULO DE RUTURA C99 (psi/MPa)	RESIST. À COMPRESSÃO C170 (psi/MPa)	ABSORÇÃO C97 (percent, máx.)	DENSIDADE C97 (lb/ft ³ /Kg/m ³ , mín.)
Mármore C503-89 Calcita Dolomita Serpentina Travertino	1,000/6,89	1,000/6,89	7,500/51,71	0.20	162/2595 175/2803 168/2691 144/2306
Calcáreo (Limestone) C568-89 Baixa Densidade Média Densidade Alta Densidade	Não Especificado	400/2,76 500/3,45 1,000/6,89	1,800/12,41 4,000/27,58 8,000/55,16	12 7.5 3	110/1762 135/2162 160/2563
Granito C615-92	1,200/8,27	1,500/10,34	19,000/131,00	0.40	160/2563
À Base de Quartzo C616-89 Arenito Arenito Quartzítico Quartzito	Não Especificado	300/2,07 1,000/6,89 2,000/13,79	2,000/13,79 10,000/68,95 20,000/137,89	20 3 1	135/2162 150/2402 160/2563
Ardósia C629-89	Não Especificado	MODULO DE RUTURA C120 9,000**/62,05 7,200**/49,64	Não Especificado	ABSORÇÃO C121 (percent. máx.) 0.25 Exterior 0.45 Interior	Não Especificado

* Através do grão ** Paralelo ao grão

CONSIDERAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

Determinação das cargas atuantes

O projeto de revestimento de fachada no Brasil deverá basicamente considerar para dimensionamento das placas de pedra e ferragens, as cargas verticais decorrentes do peso de cada placa e as cargas horizontais de vento e sucção decorrentes da ação do vento e da pressão interna da construção.

Cálculo do peso das pedras naturais

Na fase preliminar, e enquanto não se conhece os resultados dos testes do material a ser utilizado, deverá ser considerado seu peso específico (γ) para a determinação do peso das placas.

Cálculo das cargas horizontais

Para desenvolvimento dos projetos recomendamos a utilização das cargas de vento segundo a NORMA DIN 1055 - Parte 4 (Agosto/86), comparando-se com a Norma NB 599 da ABNT.

Parâmetros básicos

• Direção do Vento:

Para cada projeção da superfície principal deve-se tomar o valor máximo para o cálculo da direção do vento.

A direção do vento projeta-se na horizontal.

• Impacto:

Este será calculado em KN/m² de acordo com a altura da construção e a área que o cerca.

• *Carga de Vento:*

A carga do vento sobre um edifício resulta da ação da pressão aerodinâmica e do atrito, e formula-se:

$$Wd = cf \cdot q \cdot A \quad (N) \quad \text{onde,}$$

cf = valor da carga aerodinâmica dependendo do formato do prédio e da direção da corrente do vento
 q = impacto em N/m²

A = área a ser considerada sobre a qual a carga é recebida.

De um modo geral a projeção da fachada é feita em m².

Pressão do vento sobre a fachada

A pressão do vento deve ser calculada com o mesmo valor cp = 0,8 x 1,25 = 1,00, tanto para a área normal (NB) como para a área de borda (RB).

Tabela 2 - Pressão do Vento (valores de q)

Altura do Edifício (m)	Pressão do Vento (N/m ²)
de 0 a 8	500
de 8 a 20	800
de 20 a 100	1.100
acima de 100	1.300

No Brasil o comportamento estrutural de uma esquadria, foi regulamentada pela Norma N° NBR 6487. Esta norma fixa as condições de desempenho de caixilhos em edificações para uso residencial, e visa assegurar ao consumidor o recebimento de produtos com condições mínimas exigíveis de desempenho, especificamente quanto à resistência a cargas uniformemente distribuídas (vento) e apresenta-nos um roteiro de cálculo da pressão de ensaio P.

Fig. 1
Isopletas dos ventos
 (em metros por segundo)

Tabela 2 - Fator de Correção
 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno.

Altura acima do terreno (m)	CATEGORIA			
	Terreno aberto sem obstruções	Terrão aberto com poucas obstruções	Terrão com muitas obstruções, pequenas cidades, subúrbios de grandes cidades	Terrão com obstruções grandes e densas ex. centros de grandes cidades
3	0,83	0,72	0,64	0,56
5	0,80	0,70	0,62	0,54
10	0,75	0,65	0,58	0,51
15	0,72	0,62	0,55	0,48
20	0,69	0,59	0,52	0,45
30	0,65	0,55	0,48	0,41
40	0,62	0,52	0,45	0,38
50	0,59	0,49	0,42	0,35
60	0,57	0,47	0,40	0,33
80	0,54	0,44	0,37	0,30
100	0,52	0,42	0,35	0,28
120	0,50	0,40	0,33	0,26
140	0,48	0,38	0,31	0,24
160	0,46	0,36	0,29	0,22
180	0,45	0,35	0,28	0,21
200	0,44	0,34	0,27	0,20

Tabela 3 - Velocidade e Pressão do Vento

Cidade	Altura (m)	Velocidade (m/s)				Pressão (Pa)			
		10	20	30	40	10	20	30	40
1 Curitiba	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
2 Joinville	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
3 Florianópolis	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
4 Recife	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
5 Belo Horizonte	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
6 São Paulo	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
7 Brasília	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
8 Curitiba	10	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392
	20	10,0	14,1	17,3	20,4	100	196	294	392

Exemplo:
 Verificar a pressão de ensaio a que deve ser submetida uma janela a ser instalada no 10º andar (± 30 metros de altura) de um edifício no centro de Curitiba.

1) $VK = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$
 onde: $V_0 = 40 \text{ m/s}$
 $S_1 = 1$
 $S_2 = 0,90$
 $S_3 = 0,98$
 $VK = 31,68 \text{ m/s}$

2) $q = \frac{(VK)^2}{1,6}$
 $q = 627,26 \text{ Pa}$

3) $P = q \cdot (CE-Ci)$
 $P = 940,90 \text{ Pa}$

Conclusão:
 A pressão de ensaio, para o caso, deve ser de 941 Pa ou 94,1 kg/m².

Carga de sucção sobre a fachada

A carga de sucção (W_s) sobre as paredes laterais e posteriores de acordo com a direção do vento deve ser calculada por:

$W_s = C_p \cdot q \cdot A$ (N) onde os valores de C_p são extraídos da Tabela 3

Bild 1: Windumströmung eines Gebäudes [2]

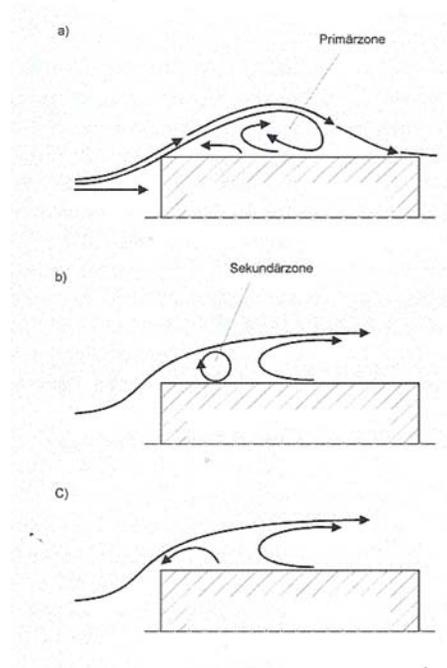
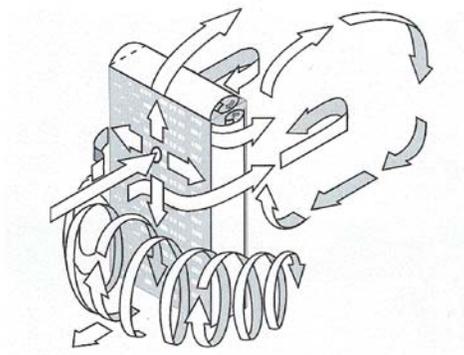


Tabela 3 - Valores de C_p

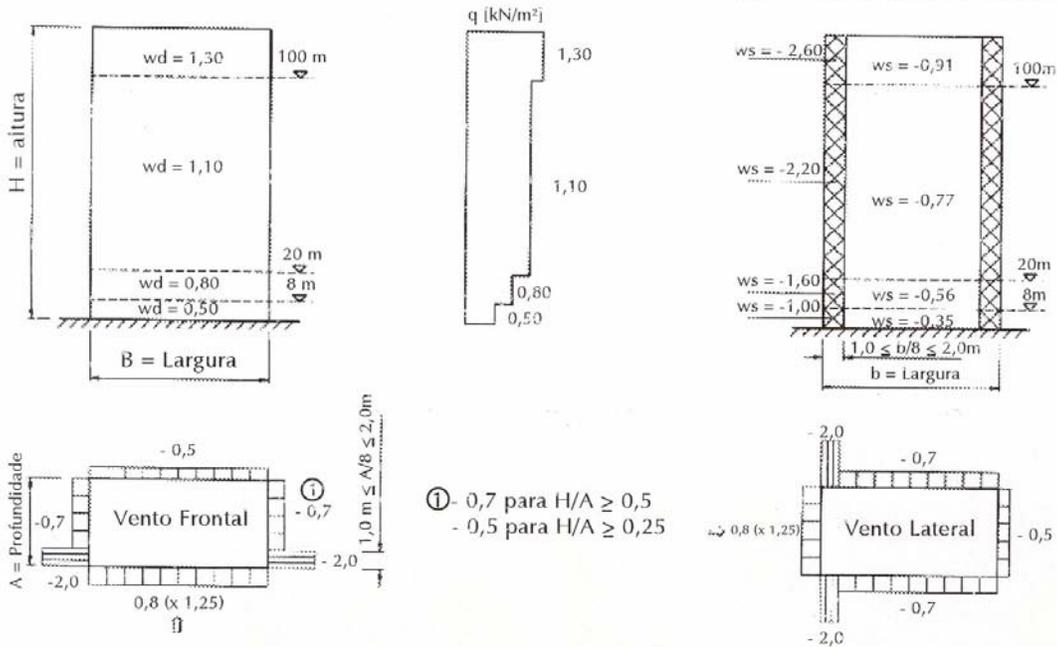
Área de Distribuição do Vento sobre a Fachada	Área	Valores de Pressão C_p para sucção do Vento
Parede Posterior	(RW) $b \cdot h$	0,50
Parede Lateral	(SW) $h/a \leq 0,25$	0,50
Parede Lateral	(SW) $h/a \geq 0,50$	0,70

Cargas Horizontais

Pressão de Vento $w_d = 0,8 \times 1,25 \times q = 1,0 \times q$ [kN/m²]

Pressão de Sucção

$w_s = -0,7 \times q$ Área normal [kN/m²]
 $w_s = -2,0 \times q$ Área de borda [kN/m²]



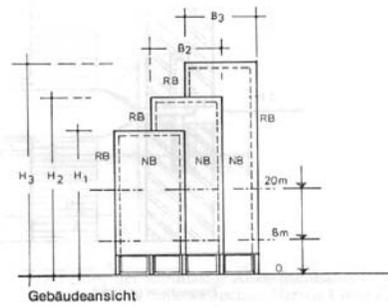
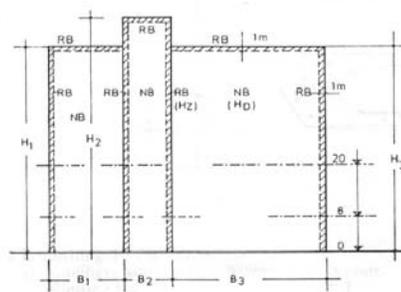
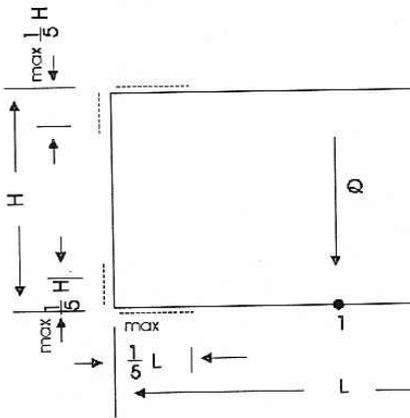
onde:

b = largura da parede posterior
 a = largura da parede lateral
 h = altura do edifício

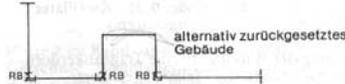
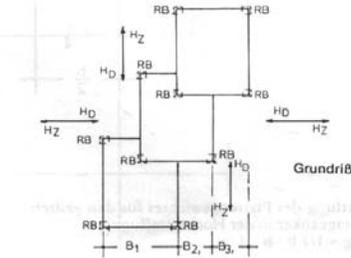
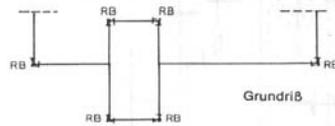
Áreas normal (NB) e de borda (RB)

As áreas dos cantos das fachadas laterais e os cantos da linha de cobertura são

as áreas de carga máxima de sucção e estas áreas são chamadas ÁREAS DE BORDA (RB). A parte do edifício por ela envolvida é chamada de ÁREA NORMAL (NB).



Gebäudeansicht: $H_2 > 5 B_2$ somit turmartig



DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DA PEDRA

Placas quadradas ($L = H$) e retangulares ($L > H$)

- Determinar peso da placa (N)
- Determinar as cargas horizontais (vento e sucção) na placa

$$K_w = w \cdot L \cdot H \quad (\text{N})$$

- Determinar os momentos m_{yR} e n_{y^2}
- Determinar a flexão no ponto 1

a) Parcela da carga de vento:

$$\tau_w = 6 \cdot K_w \div m_{yR} \cdot d^2 \quad (\text{MN/m}^2)$$

b) Parcela do peso da placa

:

$$\tau_Q = 0,75 \cdot (Q \div n_{y^2} \cdot L \cdot d) \quad (\text{MN/m}^2)$$

c) Valor da flexão no ponto 1 :

$$\tau = \tau_w + \tau_Q \quad (\text{MN/m}^2)$$

- Resistência à flexão da pedra
- $\theta = 3 \cdot \tau \quad (\text{MN/m}^2)$

Placas retangulares ($H > L$)

- Determinar o peso da placa (N)
- Determinar as cargas horizontais (vento e sucção) na placa

$$K_w = w \cdot 1 \cdot h \quad (\text{N})$$

- Determinar os momentos m_{xR} e m_{yR}
- Determinar a flexão no ponto 1 (h)

Parcela somente da carga de vento:

$$\tau_1 = K_w \div m_{yR} \cdot d^2 \quad (\text{MN/m}^2)$$

- Determinar a flexão no ponto 2 (L)

a) Parcela da carga de vento:

$$\tau_w = 6 K_w \div m_x r \cdot d^2 \quad (\text{MN/m}^2)$$

b) Parcela do peso:

$$\tau_Q = 0,068 (Q \div L \cdot d) \quad (\text{MN/m}^2)$$

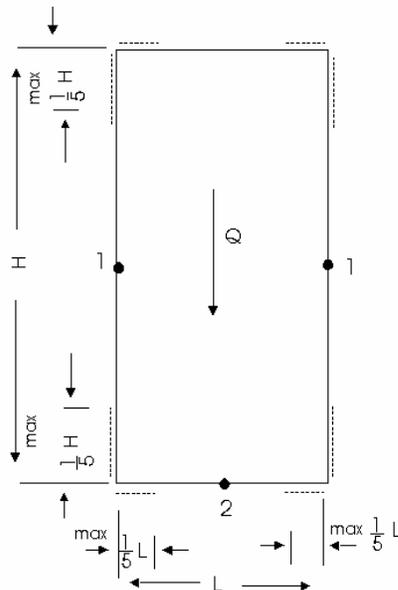
c) Valor da Flexão no ponto 2:

$$\tau_2 = \tau_w + \tau_Q \quad (\text{MN/m}^2)$$

- Resistência à Flexão da Pedra

Considerar o maior dos valores entre τ_1 e τ_2 e aplicar o coef. de segurança 3, obtendo-se $\theta = 3 \tau \text{ máx.}$

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA (d) DA PLACA



Placas quadradas e retangulares

$$d^2 = 66 K_w \div m_y r \cdot \sigma$$

onde:

d = Espessura da placa

K_w = Carga de vento ou sucção

$m_y r$ = Momento da placa ao longo

do eixo y

σ = 1/3 do valor da resistência à flexão da pedra obtido em ensaio de laboratório

DISPOSITIVOS E CONEXÕES ESTRUTURAIS

O projetista de revestimento de fachadas por meio de sistemas metálicos deve estar familiarizado e entender de estrutura das construções e todos os outros componentes envolvidos no revestimento de fachada, devendo considerar por antecipação os movimentos do edifício e todas as possíveis combinações desses movimentos e os do revestimento de fachada.

A transmissão de cargas da estrutura do edifício para os dispositivos que suportam o revestimento da fachada através das conexões deve ser acomodada sem resistências. Se a transmissão de tais cargas não é prevenida, pode ocorrer o desenvolvimento destas forças o que causará o comprometimento da fachada.

As conexões devem ser projetadas o mais simples possível e com o menor número de tipos de peças, de modo que seja

reduzida a possibilidade do uso dos componentes em locais incorretos.

A resistência à compressão, é a maior propriedade física da pedra (granito); portanto, as conexões para suportar o peso próprio da placa devem ser colocados preferencialmente na parte inferior da placa (junta horizontal), ou no caso de eventual impossibilidade, deve-se colocar as ancoragens de suporte de gravidade pela lateral da placa (junta vertical), porém o mais próximo possível da parte inferior da placa, respeitando-se as distâncias mínimas e máximas dos cantos da placa.

Os cálculos para determinação do número de ancoragens são baseados nas forças que atuarão sobre a fachada (placa) assim como nos efeitos mecânicos que também poderão incidir: compressão, tração, cisalhamento, dobramento e torção.

O uso dos furos nas pedras para receber as ancoragens ou pinos é preferível do que a execução dos rasgos.

As ancoragens individuais são preferíveis do que o uso de "andorinhas".

Deve-se evitar a concentração de tensões nos furos ou rasgos, isolando-se através do enchimento das cavidades com silicone ou elemento plástico.

Conexões estruturais

Existem muitos tipos de conexões em uso hoje em dia para o revestimento de fachadas.

Entre estas conexões destacamos uma conexão usando um rasgo na espessura da pedra (KERF). Este rasgo é executado por um disco de serra, introduzindo-se nele um dispositivo metálico em forma de chapa (andorinha) ou disco. Dependendo do cálculo estrutural o rasgo

pode ser executado em toda extensão ou em partes.

Outro tipo de conexão é chamado de LINERS, e consiste de pequenas tiras de pedra coladas e ancoradas mecanicamente nas costas da placa. O painel é então suportado nestes pontos.

Outro método de conexão são os dispositivos metálicos dotados de pinos que são inseridos em furos executados na espessura da placa.

Existe ainda um tipo de conexão que consiste na introdução de uma peça metálica num rasgo executado nas costas da placa em forma de um buraco de fechadura.

Por fim um tipo de conexão que consiste na execução de furo cilíndrico (\varnothing 7 mm) e alargamento de base (9 mm) numa profundidade de 15 mm. Neste furo é introduzido uma bucha cônica expansiva, em aço inoxidável, por onde a pedra é sustentada.

O ponto comum de todos os tipos e métodos de conexão é que a análise de suas verdadeiras resistências é difícil. Portanto, testes são necessários para estabelecer a verdadeira resistência.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O FUTURO

Não existe uma bola de cristal para se prever o futuro quanto ao uso do revestimento das fachadas dos edifícios com rochas ornamentais.

Entretanto, a experiência indica que a utilização do mármore para revestimento de fachadas diminuirá enquanto a aplicação de granito aumentará juntamente com o uso de sistemas de painéis pré-montados e CURTAIN WALL.

Chicago foi a primeira cidade a introduzir uma Lei local para "EXAME DETALHADO" das paredes externas dos prédios existentes.

Nova York seguiu o exemplo e criou também uma Lei para este fim "LOCAL LAW 10" e agora a cada 5 anos um arquiteto ou um engenheiro devidamente licenciado deve examinar as fachadas da maioria dos edifícios e preparar um relatório por escrito para o órgão oficial e para o proprietário.

Esta medida garantirá a segurança do público bem como prevenirá a queda de pedras e conseqüentemente a má publicidade, entretanto não prevenirá falhas nas construções de novas fachadas.

Os cuidados contínuos, educação e participação de arquitetos, engenheiros, projetistas, construtores e proprietários ajudarão a reduzir os insucessos nos revestimentos das fachadas, juntamente com um projeto bem elaborado e finalmente com uma supervisão e fiscalização dos trabalhos na obra].

Argamassa para o Assentamento de Rochas Ornamentais

Flávio Leal Maranhão¹; Mercia Maria Semensato B. de Barros²

¹ Engº Civil. Mestre pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC-EPUSP. São Paulo-SP. CEP 05508-900. E-mail: flavio.maranhao@poli.usp.br

² Engº Civil. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC-EPUSP. São Paulo-SP. CEP 05508-900. E-mail: mercia.barros@poli.usp.br

INTRODUÇÃO

As argamassas de assentamento são utilizadas para fixação das placas de rochas à base quando se usa o método construtivo aderente.

Este método é o mais utilizados para a produção de revestimentos no Brasil internos e externos, horizontais e verticais, apesar da Norma Brasileira restringir o seu uso em área de fachadas a uma altura de 15,0m; e caracteriza-se pela existência de um contato direto entre a rocha e o substrato, sendo que a fixação das placas dá-se por adesão química e física decorrente da penetração e cristalização dos produtos hidratados do cimento nos poros da base e no dorso da placa de rocha até uma profundidade inferior a 2,0mm (CARVALHO JR. *Et. Al.*)

Diversos tipos de argamassas são utilizadas, sendo que as mais comuns são as do tipo semi-seca e colante que, por utilizarem seqüências construtivas bastante diferentes, podem ser agrupadas segundo a técnica de aplicação em: **grande e média espessura**.

Para ambas as técnicas, os principais problemas decorrentes do uso do método aderente são as manchas oriundas da argamassa de assentamento, das eflorescências e

da oxidação de refoços metálicos chumbados no dorso das placas para o caso de revestimentos de fachada; descolamentos como conseqüência da perda de aderência entre a placa de rocha e a argamassa de assentamento ou desta à base; e as fissuras em virtude de movimentações da base ou de uma ineficientes compactação da argamassa de assentamento para o caso de pisos.

GRANDE ESPESSURA

Na técnica de **grande espessura**, utilizam-se argamassas convencionais confeccionada à base de cimento, areia e adições, geralmente produzida no próprio local do assentamento, de maneira empírica pelo próprio profissional assentador e com um teor de água suficiente para lhe conferir uma consistência semi-seca para pisos, em torno de 11%, e plástica para as paredes.

Nesta técnica, que é tradicionalmente empregada no Brasil produção de pisos e paredes de ambientes internos e externos, a argamassa é aplicada em camada única, que exerce a função tanto de regularização da base como de assentamento das placas de rocha, e caracteriza-se pelo grande consumo de mão-de-obra, pela qualidade do produto final depender da habilidade

do executor, por não exigir projetos, apresentar baixos índices de produtividade – variando entre 5 e 12 m²/dia segundo estudos de MARANHÃO; BARROS (2000)-, ser “molhada” e ter baixo grau de industrialização.

As principais variações observadas nestas argamassas são: tipo de cimento, granulometria da areia, tipo de adição e, principalmente, proporcionalamento entre os materiais.

Todos esses fatores exercem influencia significativa nas características da argamassa, resistência de aderência, perda de água, entre outras.

As figuras 1, 2 e 3 apresentam resultados de alguns trabalhos encontrados na bibliografia que investigaram a influência dessas variáveis nas propriedades das argamassas.

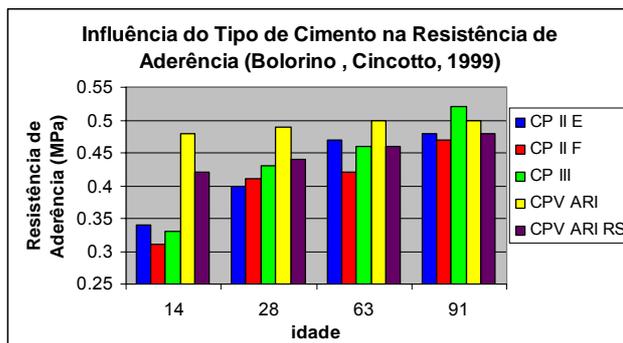


Figura: Ilustração sobre a influência do tipo do cimento na Resistência de Aderência de uma Argamassa Mista. (Bolorino; Concotto, 1999)

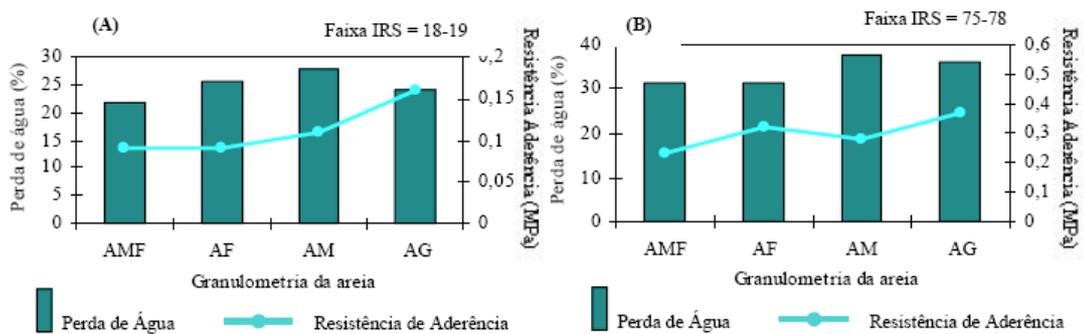


Figura 1: Ilustração sobre a influência do tipo da granulometria da areia na perda de água e na resistência de aderência de uma argamassa mista cimento:cal:areia. (Scartezini; Carasek, 2003)

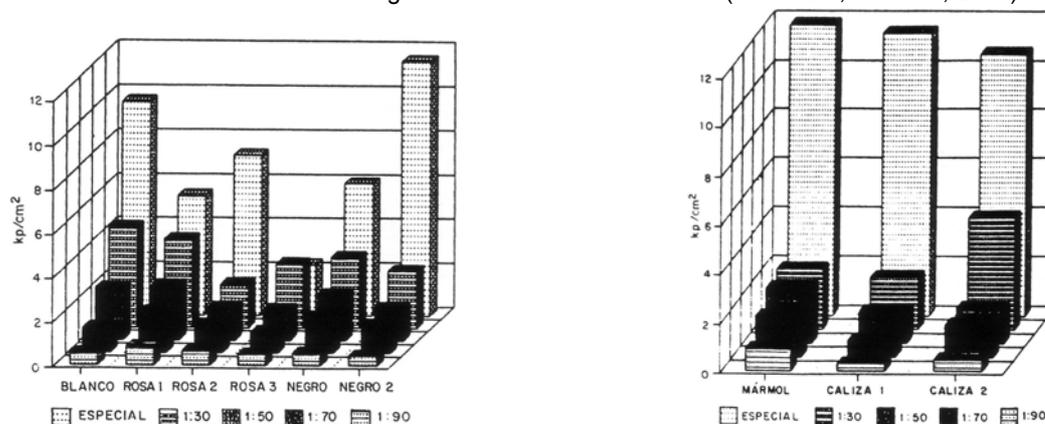


Figura 2: Resultados de resistência de aderência em diferentes tipos de rocha apresentados por Garcia *et. Al.* (1994) Para diferentes proporções cimento: areia

Complementarmente a esses resultados, aos autores deste trabalho realizaram pesquisas laboratoriais objetivando avaliar a resistência de aderência de diferentes argamassas de assentamento do tipo farofa em diferentes granitos brasileiros. As variáveis utilizadas nestas

investigações foram a relação cimento: areia e a presença ou não de polvilhamento de cimento na superfície da argamassa anteriormente ao assentamento das placas e o uso de material impermeabilizante no dorso das placas de rocha.

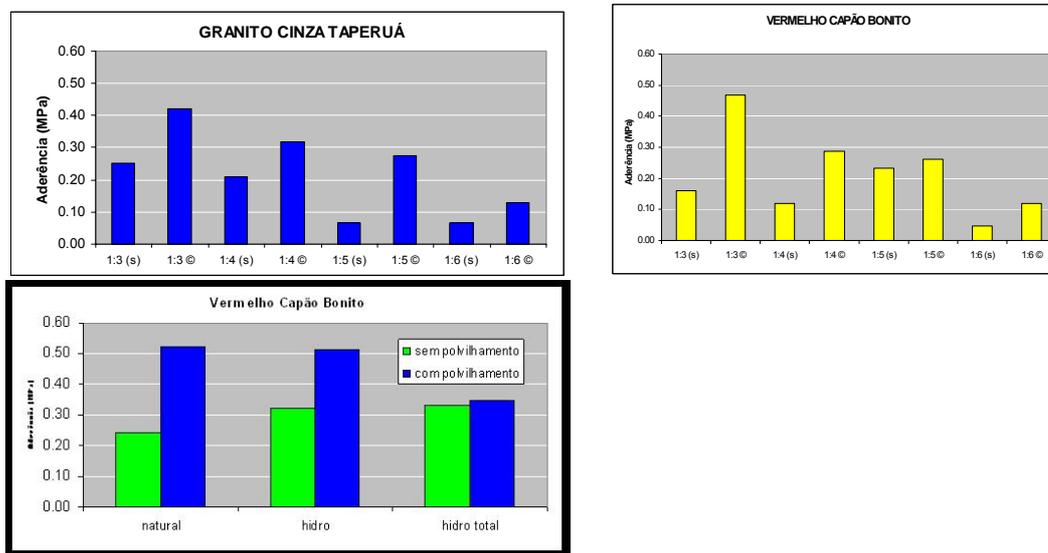


Figura 4 - Resistência de Aderência de Argamassas do tipo farofa em Função da Proporção entre os materiais e do polvilhamento de cimento e da utilização de material impermeabilizante.

Natural= hidrofugante

Hidro = hidrofugante apenas na superfície

Hidro Total = hidrofugante em todas as faces inclusive no dorso

De uma maneira geral, os resultados permitem concluir que o proporcionamento entre os materiais (cimento:areia) e o polvilhamento de cimento exercem uma influencia significativa na resistência de aderência das argamassas do tipo semi-seca; que o tipo de cimento exerce maior influência nas primeiras idades; que uma granulometria mais grossa da areia (menor presença de finos) contribui positivamente na resistência de aderência, mas que apresenta uma maior perda de água; e que a presença de hidrofugante aplicados no dorso das placas influencia negativamente na resistência de aderência.

MÉDIA ESPESSURA

A técnica de **média espessura**, por sua vez, utiliza para o assentamento das placas, argamassas colantes produzidas industrialmente à base de cimento portland comum, agregados e aditivos e já representa uma grande evolução se comparada à de grande espessura pelo fato de reduzir consideravelmente a necessidade de mão-de-obra e desperdícios, e por apresentar melhores índices produtividade.

Essa, porém, ainda é uma técnica “molhada”, de baixo grau de industrialização, cuja qualidade do produto final depende da destreza do executor. Atualmente, no Brasil, ela é predominantemente utilizada em áreas internas das edificações, e sobretudo em pisos, havendo um número pequenos de casos de

fachadas que utilizaram esta técnica (figura 5).

Nesta técnica, necessita-se de uma regularização prévia da base por meio de camada de contrapiso, para os pisos, e de emboço, para as paredes, sobre as quais as placas de rochas serão aplicadas.

Nos últimos anos diversos fabricantes de argamassa incluíram em seu portfólio argamassas colantes específicas para o assentamento de placas de rocha. Na maior parte dos casos essas argamassas são classificadas como sendo do tipo ACII pela normalização nacional ABNT 14081, havendo alternativas à base de cimento branco para o assentamento de mármore e pedras claras e outras à base de cimento cinza para o

assentamento de rochas com tonalidade escura.

Essas argamassas, de uma maneira geral, apresentam uma maior resistência de aderência e flexibilidade quando comparadas com as tradicionais em virtude da presença de polímeros, como ilustrado nas figuras 5 e 6; mas, que todas essas melhorias dependem da tipo de cura utilizadas e, principalmente, do teor final de umidade dessas argamassas, figura 7.

Um aspecto bastante importante que vem sendo investigado em diferentes regiões são os processos de degradação das argamassas colantes. Na figura 8, que tentam correlacionar a queda da resistência de aderência em função do número de ciclos de envelhecimento acelerado, apresentados por SÁ (2005).

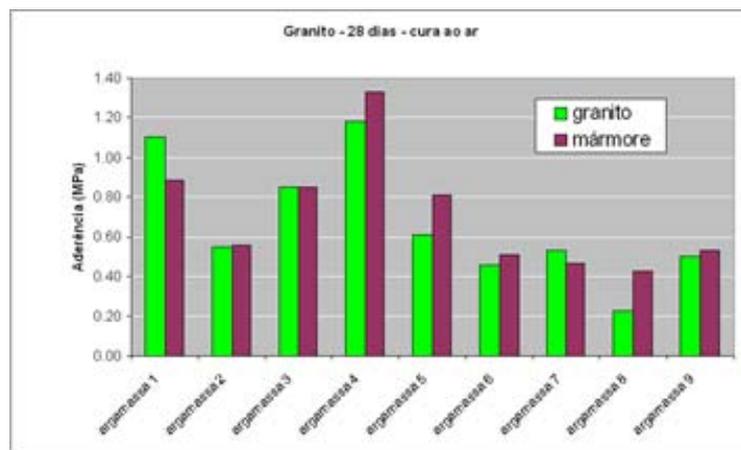
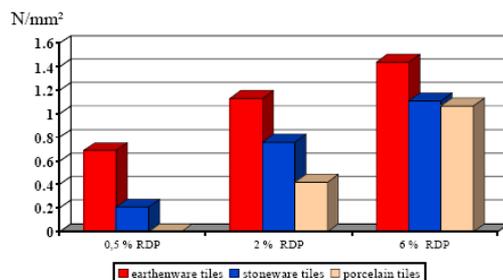


Figura 3—Resistência de aderência de diferentes tipos de argamassas colantes. (Maranhão; Barros; Maranhão, 2005)

EN 1348: Tensile adhesion strength after heat ageing
influence of the amount of polymer (RDP) after heat ageing
with different types of tiles
formulation with 35 % cement content



EN 12002: transversal deformation
modification acc. to Mapei proposal without shock-table;
formulation with different types and amounts of polymer

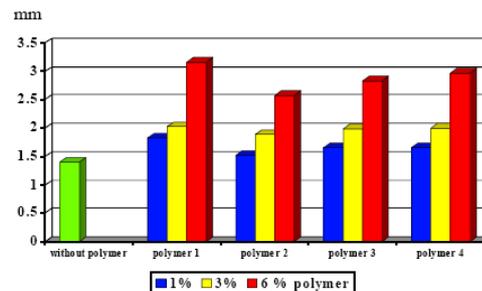


Figura 4: Influência da Adição de polímeros na resitência de Aderência (direita) e na flexibilidade (esquerda). FRITZE (2002)

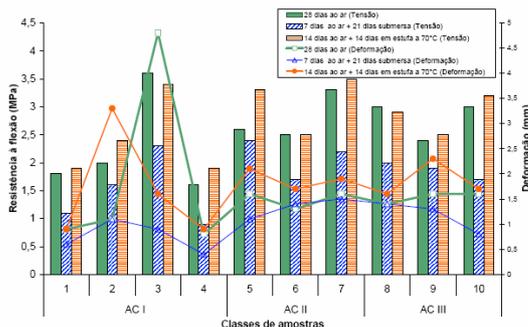
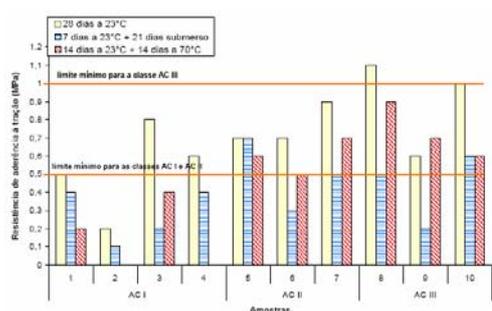


Figura 7: Influência do tipo de cura na resistência de aderência (esquerda) e flexibilidade (direita) de algumas argamassas colantes. SILVA (2003)

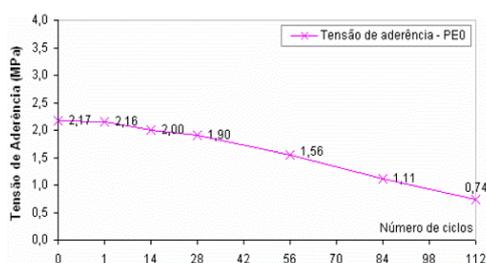


Figura 8: Queda da resistência de aderência em estudo I;aboratorial em função do número de ciclos de envelhecimento acelerado. SÁ (2005)

De uma maneira geral, os resultados permitem concluir que o tipo de argamassa influencia de maneira significativa na resistência de aderência; que as argamassas do tipo AC I não fornecem valores adequados (ilustrados pelas argamassas 6 a 9, na figura 5); que o teor de polímero influencia significativamente na resistência de aderência e na flexibilidade; que a cura úmida é que influencia de maneira mais negativa na resistência de aderência e flexibilidade; e que as argamassas colantes podem apresentar queda significativa de desempenho em função de processos de degradação.

CONCLUSÃO

O método construtivo aderente continua a ser o mais utilizado no Brasil para a produção de revestimentos com placas de rocha, tanto de piso como de paredes de áreas internas e externas das edificações.

Para tal diversos tipos de argamassas vêm sendo utilizadas, sendo que as colantes e semi-seca são mais utilizadas em revestimentos horizontais, apesar e já serem encontrados casos isolados de fachadas que utilizaram argamassas colantes; e as argamassas plásticas para revestimentos verticais internos e externos, apesar da norma brasileira limitar esta técnica construtiva a alturas máximas de 15,0m.

O tipo de argamassa utilizada para o assentamento irá influenciar de maneira significativa no desempenho do revestimento ao longo de sua vida útil, visto que elas apresentam propriedades como capacidade de absorver deformações, resistência de aderência e flexibilidade consideravelmente diferentes.

Quando se usa argamassas do tipo semi-seca identificou-se que tanto o polvilhamento de cimento como sua proporção exercem influencia significativa na resistência de aderência, sendo que apenas nos casos em que há polvilhamento de

cimento e uma proporção de cimento superior a 20% encontram-se resistências de aderência adequadas.

Já quando se usa as argamassas colantes, percebe-se um considerável incremento das resistências de aderência e flexibilidade quando comparadas as tradicionais, em virtude da adição de polímeros. Ocorre, porém, que o desempenho dessas argamassas é consideravelmente influenciado pelo tipo de cura utilizado e pelos processos de degradação a que estão submetidos ao longo da vida útil do revestimento.

Por isso tudo, apenas com uma adequada especificação da argamassa de assentamento é possível conseguir um desempenho adequado para os revestimentos aderentes com placas de rocha, minimizando o surgimento de manchas, destacamentos e fissuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLORINO, Heloisa; CINCOTTO, Maria Alba. **Adequação de traços de argamassa mista conforme o tipo de cimento.** SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASAS, 3. Vitória, Brasil, 1999
- CARVALHO Jr, Antonio Neves; BRANDÃO, P.R.G.; FREITAS, J.M.C. **Relação entre a Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa e o Perfil de Penetração de Pasta de Aglomerante nos Poros do Bloco Cerâmico.** SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASAS, 6, INTERNATINOAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1. Florianópolis, Brasil, 2005.
- FRITZE, Peter. **Deformability and water resistance of C1 and C2 adhesives according to EN 12004 and EN 12002.** Qualicer, 2002.
- GARCIA, Reyes Rodrigues; MARIN, Juan Pereda; VELASCO, Jorge polo; SEVILLA, Jesús Barrios. **The Adherence in the union Stone-mortar.** *Revista Materiales de Construcción.*, vol. 44, n.234. 1994
- MARANHÃO, Flávio L.; BARROS, Mércia Maria S.B. **Revestimentos de Pisos com PlacAs de Rocha – Estudo de Caso.** CITQUACIL , Recife, 2000.
- MARANHÃO, Flávio L.; BARROS, Mércia Maria S.B.; MARANHÃO, Ricardo Jorge L. **Pisos Aderentes com Placas de Rocha. Parte II: especificação da Argamassa da Assentamento.** REVISTA ROCHAS DE QUALIDADE, ANO XXXVIII, N. 180, janeiro-fevereiro 2005
- SÁ, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira. **Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachada.** Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, Janeiro, 2005, 148p.
- SCARTEZINI, Luís Maurício; CARASEK, Helena. **Avaliação da perda de água da argamassa fresca para o substrato por sucção capilar.** São Paulo, SP. 2003. p. 251-264. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA, 5., 2003, São Paulo.
- SILVA, Cláudio Oliveira. **Análise Crítica dos Requisitos e Critérios de Qualidade das Argamassas Colantes.** São Paulo. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, 2003

SITUAÇÃO DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO NO BRASIL – MERCADOS INTERNO E EXTERNO

Cid Chiodi Filho

Geólogo, consultor da **ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das atividades integradas à cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais é relativamente recente no Brasil. As atividades de lavra foram iniciadas na década de 1940, o beneficiamento industrial na década de 1970 e as exportações na década de 1990. No ano de 1999 o valor das exportações de rochas processadas igualou-se ao das rochas brutas, tendo-se fechado 2004 com 75% do faturamento das exportações ligado a essas rochas processadas, já com alguma participação de produtos acabados, prontos para o consumidor final. Atualmente, o Brasil se coloca entre os principais “*players*” mundiais do setor de rochas ornamentais, com negócios bastante significativos nos mercados interno e externo.

Estima-se que, entre os negócios relativos aos mercados interno e externo, inclusive de venda de máquinas, equipamentos e serviços, bem como de prestação de serviços, o setor brasileiro de rochas esteja movimentando cerca de US\$ 2,8 bilhões/ano. Cerca de 125.000 empregos diretos são gerados pelas 12.000 empresas integradas à cadeia produtiva do setor de rochas. Outros 360 mil empregos indiretos devem desdobrar-se da cadeia produtiva do setor. O custo para geração de cada emprego direto, do setor de rochas, não excede US\$ 10 mil. Com US\$ 601,0 milhões exportados e US\$ 20 milhões importados, o saldo da balança comercial do setor excedeu US\$ 580 milhões em 2004.

Os dois principais setores de atividade, ligados ao de rochas

ornamentais, são o da construção civil e o de máquinas, equipamentos e insumos para lavra e beneficiamento de rochas. O macro setor da construção civil consome cerca de 1,5 bilhão de m²/ano, em materiais diversos de revestimento para edificações. Uma parte significativa desses revestimentos, de mais ou menos 50 milhões m²/ano, é representada por materiais rochosos naturais.

A estagnação econômica brasileira provocou um quadro recessivo persistente na construção civil, afetando assim o mercado interno dos materiais de revestimento convencionalmente utilizados nas edificações. Em períodos de crise econômica, observa-se, no entanto, um significativo fluxo de capital para o mercado imobiliário de alto padrão, que exige acabamento em mármore e granitos e constitui alternativa aos investimentos de mais alto risco e voláteis do mercado de capitais, atenuando-se assim a redução do consumo.

Na última década foram registrados avanços significativos em todos os segmentos de atividade do setor de rochas, inclusive o de lavra. Existem atualmente 18 aglomerações produtivas identificadas no Brasil, em diferentes estágios de desenvolvimento, distribuídos por 80 municípios de 10 estados da federação. A maior parte e os principais arranjos estão localizados na região sudeste, pela relação geográfica existente com os principais pólos consumidores no mercado interno. Mais amplamente, com dados de 2001, foram registrados 370 municípios com recolhimento da CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, para a extração de

rochas de revestimento. Neste quadro, estima-se a existência de cerca de 1.500 frentes ativas de lavra, responsáveis pela produção de 600 variedades comerciais de rochas colocadas nos mercados interno e externo.

As perspectivas do mercado interno são positivas, pois já existem alguns sinais consistentes da retomada da atividade econômica e crescimento do PIB, que seguramente rebatem bons negócios no macro setor da construção civil. São também positivas as perspectivas do setor de rochas para o mercado externo, destacando-se os negócios com ardósias, quartzitos foliados e pedra-sabão na Europa e, sobretudo, com produtos beneficiados de granito no mercado dos EUA, do qual o Brasil já é o maior fornecedor, em volume físico, de chapas polidas. Pelo desempenho recente das exportações brasileiras e tendências apontadas para o mercado internacional, pode-se projetar que o faturamento dessas exportações brasileiras atingirá US\$ 800 milhões em 2005 e talvez US\$ 1 bilhão já em 2006. Para o mercado interno pode-se até projetar a duplicação dos atuais 51,8 milhões de m² equivalentes, consumidos anualmente, em um horizonte de cinco anos.

Os principais obstáculos do setor de rochas são comuns a outras áreas da atividade econômica no Brasil, sobretudo daquelas afetadas às micro e pequenas empresas, destacando-se a alta carga tributária, a dificuldade de acesso a crédito, as elevadas taxas de juro, as deficiências e dificuldades da infraestrutura logística, a falta de garantias de crédito pré e pós-embarque para os exportadores, o aviltamento de preços no mercado interno e a desvalorização do US Dólar frente ao Real, para o mercado externo. No mercado externo, nossas perspectivas são ainda limitadas pela China, que é parceira do Brasil na questão das commodities e concorrente nos produtos manufaturados, principalmente naqueles associados a recursos naturais e, inclusive, os de base mineral.

As condições ideais, ou pelo menos mais adequadas para o desenvolvimento do setor de rochas, envolvem um ambiente onde as dificuldades anteriormente mencionadas estivessem melhor equacionadas. A crise enfrentada com o transporte marítimo no 1º semestre de 2004, e que afetou fortemente as exportações de rochas pela falta de navios e *containers*, sugere que o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer antes de conquistar bases realmente sólidas de desenvolvimento sustentável. Paradoxalmente, é provável que a queda dos embarques tenha adiado, porém não eliminado, o esgotamento da capacidade instalada do parque brasileiro de beneficiamento de rochas, pois neste caso as políticas governamentais não têm promovido as condições necessárias à adequação quantitativa e sequer qualitativa de nossa indústria. O que de fato ocorre, infelizmente, é uma falta de entendimento governamental sobre as reais dificuldades e aspirações das micro e pequenas empresas. No setor de rochas, particularmente, ainda não são bem compreendidas e atendidas, pelas instituições de fomento, os negócios que envolvem especialidades comerciais, pois a cultura dominante abriga as grandes empresas e as *commodities*.

O Brasil é, sem dúvida alguma, um dos maiores centros produtores mundiais de rochas ornamentais, e o mais rico em granitos. Desde que se ofereçam condições de funcionamento para o parque brasileiro de beneficiamento de granitos, o Brasil poderá conquistar parcelas bem mais significativas que os atuais 4% no mercado internacional de rochas processadas especiais. Da mesma forma, as ardósias de Minas Gerais têm se mostrado como as rochas brasileiras mais competitivas no mercado internacional, onde controlam uma fatia de 12%, superior à da China e Índia, e apenas inferior à da Espanha.

Em relação aos países europeus, com tradição histórica no setor de rochas ornamentais, o Brasil oferece atualmente qualidade e preços mais competitivos em chapas de granito, produtos de ardósia e também quartzitos foliados do tipo Pedra São Tomé. Em relação aos novos “*global players*” do setor de rochas, caso da Índia, China e Turquia, o Brasil é também bastante competitivo em qualidade e preços, carecendo, no entanto, de políticas claras de fomento para o mercado externo.

A principal oportunidade atualmente vislumbrada é a de aumentar a participação brasileira no mercado internacional de rochas processadas, tanto semi-acabadas quanto, sobretudo, acabadas. O principal desafio brasileiro é desenvolver bases permanentes de competitividade, inclusive com ardósias, sobretudo frente à China e Índia.

A produção mundial noticiada de rochas para ornamentação e revestimento (Montani, 2004) totalizou 75,0 milhões t em 2003, sendo 42,5 milhões (56,7%) relativos a rochas carbonáticas, 28,5 milhões (38,0%) a rochas silicáticas e 4,0 milhões (5,3%) a ardósias (Quadro 2.1). A Ásia respondeu por 45,9% dessa produção, permanecendo à frente da Europa com 39,4%, das Américas com 10,3%, da África com 4,0% e da Oceania com 0,4% (Quadro 2.2).

PANORAMA MUNDIAL

Quadro 2.1 – Produção Mundial/Perfil Histórico							
Rochas	Mármore		Granitos		Ardósias		Total
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	
Período	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t
1926	1.175	65,6	175	9,8	440	24,6	1.790
1976	13.600	76,4	3.400	19,1	800	4,5	17.800
1986	13.130	60,5	7.385	34,0	1.195	5,5	21.710
1996	26.450	56,9	17.625	37,9	2.425	5,2	46.500
1997	27.650	55,8	19.350	39,1	2.500	5,1	49.500
1998	29.400	57,6	19.000	37,3	2.600	5,1	51.000
1999	31.300	57,4	20.350	37,3	2.850	5,3	54.500
2000	34.500	57,8	21.700	36,3	3.450	5,9	59.650
2001	38.500	59,2	23.250	35,8	3.250	5,0	65.000
2002	39.000	57,8	25.000	37,0	3.500	5,2	67.500
2003	42.500	56,7	28.500	38,0	4.000	5,3	75.000

Fonte: Montani (2004)

Quadro 2.2 - Distribuição da Produção Mundial de Rochas						
Continentes	2001		2002		2003	
	1.000 t	%	%	1.000 t	%	1.000 t
<i>Europa</i>	29.250	45,0	42,2	28.500	29.550	39,4
Américas	6.750	10,4	10,4	7.000	7.700	10,3
África	3.000	4,6	4,1	2.800	3.000	4,0
Ásia	25.850	39,7	43,0	29.000	34.500	45,9
Oceania	150	0,3	0,3	200	250	0,4
Total	65.000	100,0	100,0	67.500	75.000	100,0

Fonte: Montani (2002, 2003, 2004)

A China (17,5 milhões t), Índia (8,5 milhões t), Itália (7,8 milhões t), Espanha (5,7 milhões t), Irã (4,8 milhões t) e Turquia (3,25 milhões t), constaram como os seis principais produtores mundiais, colocando-se o Brasil na 7ª posição com

3,2 milhões t (Quadro 2.3). Sabe-se, no entanto, que o valor apresentado para o Brasil é subestimado, pois a produção brasileira real, em 2003 (6,1 milhões t), seria até superior àquela referida para a Espanha (Chiodi Filho, 2004d).

Quadro 2.3 - Principais Produtores Mundiais						
Países	2001		2002		2003	
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%
<i>China</i>	11.500	17,6	14.000	20,8	17.500	23,3
<i>Itália</i>	8.400	12,9	8.000	11,9	7.850	11,0
<i>Índia</i>	6.000	9,2	6.500	9,6	8.500	11,3
<i>Espanha</i>	5.500	8,5	5.350	7,9	5.750	7,7
<i>Irã</i>	4.000	6,2	4.250	6,3	4.850	6,5
<i>Brasil</i>	2.500 (5.153)*	3,8	2.750 (5.559)*	4,1	3.200 (6.086)*	4,3
Portugal	2.400	3,7	2.300	3,4	2.250	3,0
Turquia	2.250	3,5	2.500	3,7	3.250	4,3
EUA	1.850	2,8	2.000	3,0	2.250	3,0
Grécia	1.600	2,5	1.500	2,2	1.450	1,9
Outros	19.000	29,2	17.850	26,5	18.150	24,2
Total	65.000	100,0	67.500	100,0	75.000	100,0

*Fonte: Montani (2002, 2003, 2004); * Chiodi Filho (2004d)*

A força do setor de rochas pode ser mensurada ao verificar-se que a produção mundial de suas matérias-primas evoluiu de 1,5 milhões t/ano na década de 1920, para o patamar de 75,0 milhões t em 2003. O vigoroso incremento do mercado internacional caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como “a nova idade da pedra”, destacando o setor de rochas como uma importante nova área de negócios minero-industriais.

Cerca de 29,6 milhões t de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2003. Somando-se as transações do mercado internacional e dos mercados internos dos países produtores, bem como a comercialização de máquinas, equipamentos, insumos e serviços, estima-se que o setor de rochas movimentou US\$ 50 bilhões/ano. Das exportações mundiais de 2003 (Quadro 2.4), segundo a mesma fonte de consulta (Montani, *op.cit.*), a China foi responsável por 7,0 milhões t (23,6%), a Índia por 3,2 milhões t (10,8%), a Itália por 3,1 milhões t (10,4%), a Espanha por 2,2 milhões t (7,5%) e a Turquia por 2,1 milhões t (7,0%), seguindo-se o Brasil, em 6º lugar, com 1,5 milhões t (5,1%).

Ainda a respeito das exportações mundiais (Quadro 2.5), destaca-se que as rochas silicáticas brutas (código 2516) representaram 8,35 milhões t (28,2%), as rochas carbonáticas brutas (código 2515)

compuseram 5,2 milhões t (17,6%), as rochas processadas especiais (código 6802) somaram 11,76 milhões t (39,7%), as rochas processadas simples (código 6801) totalizaram 3,21 milhões t (10,8%) e os produtos de ardósia (código 6803) perfizeram 1,07 milhões t (3,6%).

No mercado internacional de rochas processadas especiais, a China respondeu por 43,9% do total exportado em 2003, mantendo-se à frente da Itália, que participou com 16,8%. O Brasil colocou-se em 6º lugar nesse mercado, com 3,97% das exportações efetuadas. As exportações de rochas processadas especiais, de fato realizadas pelo Brasil em 2003 (407 mil t), apresentam, no entanto, algumas diferenças frente ao grafado na *Stone 2004*, suficientes para alterar sua participação percentual no mercado internacional (vide valores assinalados entre parênteses no Quadro 2.6).

Conforme assinalado no Quadro 2.7, o Brasil manteve-se em 2003 como o 2º maior exportador mundial de ardósia, ocupando a 2ª posição entre os exportadores de rochas silicáticas brutas, o 6º posto para rochas processadas especiais e o 10º nas rochas processadas simples. Ainda que mantendo o mesmo ranqueamento, observa-se (vide Quadro 2.6) que a participação do Brasil é crescente tanto nas rochas processadas em geral, quanto nas ardósias.

Quadro 2.4 – Principais Exportadores Mundiais						
Países	2001		2002		2003	
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%
<i>China</i>	4.692	19,5	5.700	22,5	6.992	23,6
<i>Itália</i>	3.550	14,7	3.191	12,6	3.071	10,4
<i>Índia</i>	2.294	9,5	2.431	9,6	3.192	10,8
<i>Espanha</i>	1.861	7,7	1.843	7,3	2.213	7,5
<i>Brasil</i>	1.222	5,1	1.412	5,6	1.508 (1.532)	5,1 (5,2)
<i>Portugal</i>	1.217	5,0	1.054	4,2	1.046	3,5
Turquia	985	4,1	1.470	5,8	2.065	7,0
África do Sul	903	3,7	936	3,7	742	2,5
Bélgica	615	2,6	628	2,5	757	2,6
Canadá	510	2,1	342	1,3	388	1,3
Alemanha	348	1,4	420	1,7	405	1,4
Noruega	315	1,3	352	1,4	362	1,2
Polônia	326	1,4	258	1,0	339	1,2
Irã	307	1,3	341	1,3	385	1,3
Grécia	277	1,1	340	1,3	370	1,3
<i>Fonte: Montani (2002, 2003, 2004)</i>						

Quadro 2.5 - Balanço das Exportações Mundiais							
Produtos	Código	2001		2002		2003	
		1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%
<i>Rochas Silicáticas Brutas</i>	2516	8.580	35,6	8.426	33,2	8.346	28,2
<i>Rochas Carbonáticas Brutas</i>	2515	3.240	13,4	3.806	15,0	5.206	17,6
<i>Rochas Processadas Especiais</i>	6802	8.650	35,9	9.610	37,8	11.758	39,7
<i>Rochas Processadas Simples</i>	6801	2.670	11,1	2.659	10,5	3.206	10,8
<i>Produtos de Ardósia</i>	6803	970	4,0	880	3,5	1.070	3,6
Total		24.100	100,0	25.381	100,0	29.586	100,0

Fonte: Montani (2002, 2003, 2004)

Quadro 2.6 – Participação Brasileira no Mercado Internacional					
Produtos	Código	2000	2001	2002	2003
<i>Rochas Silicáticas Brutas</i>	2516	10,4%	10,3%	12,0% (9,7%)	9,81% (10,54%)
<i>Rochas Carbonáticas Brutas</i>	2515	0,1%	0,1%	0,3% (0,2%)	0,17% (0,25%)
<i>Rochas Processadas Especiais</i>	6802	2,1%	2,3%	2,5% (2,9%)	3,97% (3,46%)
<i>Rochas Processadas Simples</i>	6801	1,3%	2,1%	2,3% (2,7%)	2,81% (3,18%)
<i>Produtos de Ardósia</i>	6803	6,8%	8,5%	10,0% (12,0%)	11,50% (12,24%)

Fonte: Montani (2004) e Chiodi Filho (2004e)

Quadro 2.7 – Posição Brasileira no Mercado Internacional					
Produtos	Código	2000	2001	2002	2003
<i>Rochas Silicáticas Brutas</i>	2516	4º	4º	2º (4º)	2º (2º)
<i>Rochas Carbonáticas Brutas</i>	2515	-	-	-	
<i>Rochas Processadas Especiais</i>	6802	8º	8º	7º (5º)	6º (6º)
<i>Rochas Processadas Simples</i>	6801	12º	10º	10º (10º)	10º (10º)
<i>Produtos de Ardósia</i>	6803	2º	2º	2º (2º)	2º (2º)
<i>Fonte: Montani (2003, 2004) e Chiodi Filho (2004e)</i>					

As projeções de consumo / produção e exportações mundiais de rochas ornamentais não apontam mudança de paradigmas na construção civil, indicando a manutenção da tendência de crescimento do setor registrada nas últimas duas décadas. Prevê-se nestes termos que em 2025 a produção mundial de rochas atingirá 450 milhões t/ano, multiplicando-se por sete as atuais transações internacionais.

SITUAÇÃO BRASILEIRA

Produção e Consumo Interno

A partir de estudos realizados para o Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT¹, em 2001, evidenciou-se a existência de 18 aglomerações produtivas relacionadas ao setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil, envolvendo atividades empresariais em 10 estados e 80 municípios (Quadro 3.1).

Foram também registrados, nesse mesmo estudo, 370 municípios com recolhimento da CFEM² para a extração de rochas de revestimento.

¹ Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral Significativa no Brasil. Elaborado pelo Instituto Metas (Sistema FIEMG) para o MCT/CNPq/CGEE, em setembro de 2002.

² CFEM – Compensação Financeira sobre a Exploração Mineral – www.dnpm.gov.br

Quadro 3.1 – Principais Aglomerações Produtivas do Setor de Rochas no Brasil Base 2001			
Região	Aglomerações Identificadas	UF	Nº Mun. Envolvidos
Sudeste	<i>Pedra Miracema</i>	<i>RJ</i>	1
	<i>Ardósias Papagaio</i>	<i>MG</i>	8
	<i>Mármore e Granitos Cachoeiro de Itapemirim</i>	<i>ES</i>	8
	<i>Granitos Nova Venécia</i>	<i>ES</i>	6
	<i>Quartzitos São Thomé</i>	<i>MG</i>	6
	<i>Granitos Baixo Guandu</i>	<i>ES</i>	4
	<i>Granitos Medina</i>	<i>MG</i>	4
	<i>Granitos Candeias - Caldas</i>	<i>MG</i>	16
	<i>Granitos Bragança Paulista</i>	<i>SP</i>	4
	<i>Quartzitos e Pedra Sabão Ouro Preto</i>	<i>MG</i>	4
	<i>Quartzitos Alpinópolis</i>	<i>MG</i>	2
Centro-Oeste	<i>Quartzitos Pirenópolis</i>	<i>GO</i>	2
Sul	<i>Basaltos Nova Prata</i>	<i>RS</i>	7
	<i>Ardósias Trombudo Central</i>	<i>SC</i>	1
Nordeste	<i>Travertinos Orolândia</i>	<i>BA</i>	2
	<i>Granitos Teixeira de Freitas</i>	<i>BA</i>	2
	<i>Pedra Cariri</i>	<i>CE</i>	2
	<i>Pedra Morisca</i>	<i>PI</i>	1
Total de 18 Aglomerações em 10 Unidades da Federação			80 Municípios

Mais amplamente, e já para o ano de 2004, pode-se apontar a existência de 12.000 empresas do setor de rochas atuantes no Brasil, responsáveis pela geração de 125.000 empregos diretos e por um parque de beneficiamento com capacidade de serragem e polimento de 50 milhões m²/ano, para chapas de mármore, granitos e outras rochas extraídas como blocos. As transações comerciais do setor nos mercados interno

e externo, incluindo-se negócios com máquinas, equipamentos e insumos, movimentaram cerca de US\$ 2,8 bilhões em 2004.

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento foi estimada em 6,45 milhões t no ano de 2004, abrangendo cerca de 600 variedades comerciais derivadas de 1.500 frentes ativas de lavra. O perfil dessa

produção, por tipo de rocha, e a sua distribuição pelas regiões e estados brasileiros, são mostrados no Quadro 3.2.

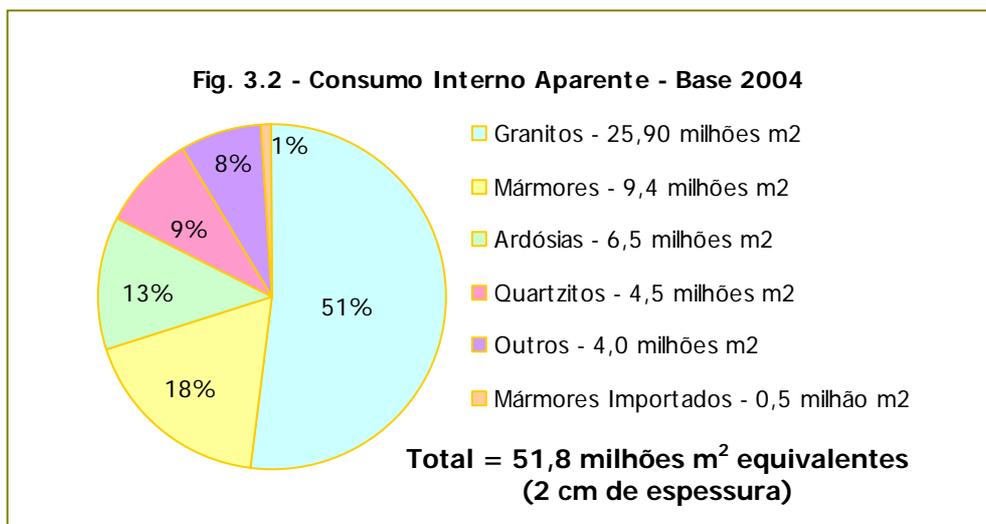
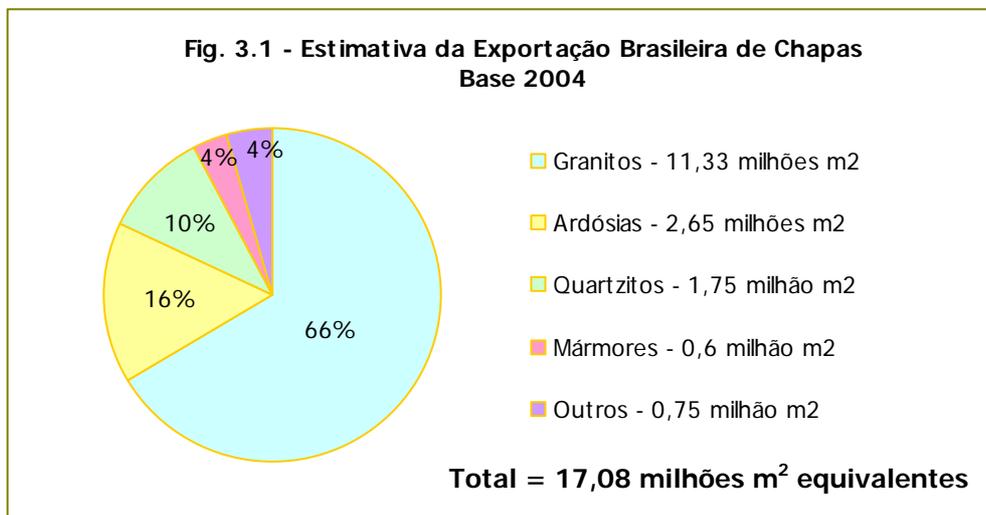
O consumo interno aparente das rochas ornamentais e de revestimento pode ser calculado pela soma da produção e importação de rochas

processadas, descontando-se a exportação de rochas processadas. Para efeito de cálculo, é necessário transformar-se os pesos de rochas processadas em metros quadrados equivalentes de chapas, com 2 cm de espessura.

Quadro 3.2 - Distribuição da Produção de Rochas por Regiões e Estados Brasileiros – Base 2004			
Região	Estado	Produção (1.000t)	Tipo de Rocha
Sudeste	Espírito Santo	2.800	Granito e mármore.
	Minas Gerais	1.650	Granito, ardósia, quartzito foliado, pedra sabão, pedra talco, serpentinito, mármore e basalto.
	Rio de Janeiro	250	Granito, mármore e pedra Paduana.
	São Paulo	50	Granito, quartzito foliado e ardósia.
Sul	Paraná	200	Granito, mármore e outros.
	Rio Grande do Sul	100	Granito e basalto
	Santa Catarina	100	Granito e ardósia
Centro-Oeste	Goiás	150	Granito e quartzito foliado.
Norte e Nordeste	Bahia	410	Granito, mármore, travertino, arenito e quartzito.
	Ceará	410	Granito e pedra Cariri.
	Paraíba	100	Granito e conglomerado.
	Pernambuco	60	Granito.
	Alagoas	30	Granito.
	Rondônia	30	Granito.
	Rio Grande Norte	30	Mármore e granito.
	Pará	10	Granito
	Piauí	70	Pedra Morisca.
Total Brasil		6.450	
<i>Fonte: ABIROCHAS, 2005</i>			

A produção de rochas estimada para 2004 (vide Quadro 3.2) e as exportações de rochas brutas deste período (Quadro 3.3) permitem quantificar o processamento brasileiro de chapas em 68,4 milhões m². Considerando-se as exportações brasileiras de rochas processadas em 2004 (vide Quadro 3.3) e transformando-se o seu volume físico em metros quadrados equivalentes de chapas com 2 cm de espessura, chega-se aos valores apontados na Fig. 3.1 para os diferentes materiais exportados.

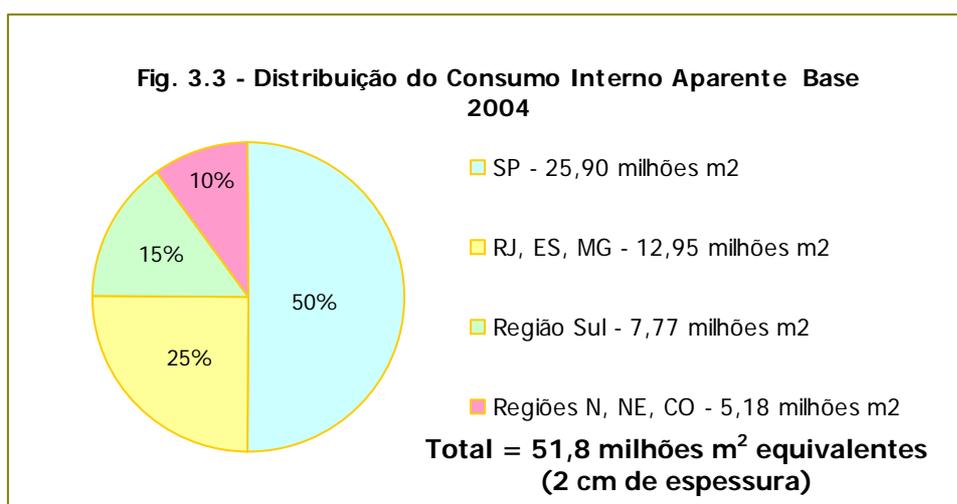
A partir dos dados da Figura 3.1, referentes à produção e exportação estimadas de chapas no Brasil em 2004, bem como do total também estimado de chapas importadas no período, pode-se apontar consumo interno aparente de 51,8 milhões m² equivalentes de chapas dos diversos tipos de rochas comercializados (Fig. 3.2). Este consumo interno não deverá sofrer alterações significativas em 2005.



Quadro 3.3 – Exportações Brasileiras de Rochas Brutas e Processadas - Base 2004		
Produtos Comercializados		Peso (t)
Rochas Processadas (Chapas, Lajotas, Mosaicos, etc.)	<i>Granitos</i>	543.065,40
	<i>Mármore</i> s	3.027,10
	<i>Quartzitos</i>	121.175,71
	<i>Ardósias</i>	189.555,35
	<i>Outros</i>	23.828,77
▣ Subtotal Rochas Processadas		880.652,33
Rochas Brutas (Blocos)	<i>Granitos</i>	922.040,90
	<i>Mármore</i> s	9.325,80
	<i>Outros</i>	28.415,48
▣ Subtotal Rochas Brutas		959.782,18
Total		1.840.434,51

Assumindo-se densidade média de 2,75 g/cm³ para as rochas avaliadas, e portanto um peso médio de 55 kg/m² das chapas com 2 cm de espessura, os 51,8 milhões m² correspondem a um consumo líquido de 15,9 kg per capita/ano ou a um consumo bruto de 26,1 kg per capita/ano.

A partir dos indicadores sócio-econômicos disponíveis, relacionados à participação no PIB brasileiro, à densidade populacional, ao poder aquisitivo e ao desempenho da construção civil, sugere-se a distribuição regional de consumo mostrada na Fig. 3.3.



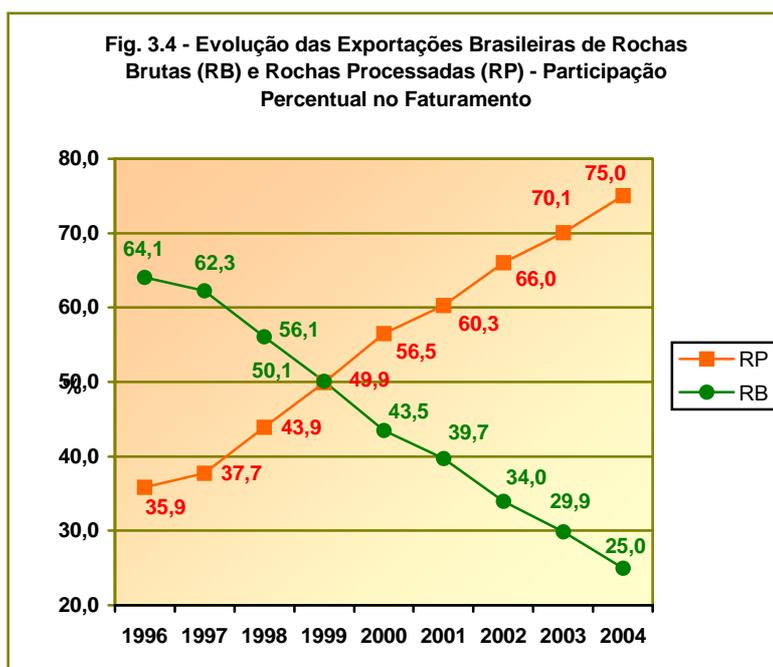
Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais

Retrospectiva de 1999 a 2002

No período de 1999 a 2002 as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais tiveram crescimento de 45,7% em faturamento e de 28,2% em volume físico, passando de US\$ 232,46 milhões para US\$ 338,80 milhões e de 983,61 mil t para 1.260,85 mil t. O incremento médio anual foi de 13,64% para o faturamento e de 9,34% para o volume físico, indicando a participação crescente de produtos com maior valor agregado nas exportações.

Apenas para rochas processadas, abrangendo produtos acabados e semi-acabados de granitos, ardósias, quartzitos foliados, serpentinitos, pedra-sabão, mármore, travertinos, basaltos, etc., registrou-se crescimento de 93,05% em valor e 140,07% em peso, no período considerado. Percebe-se daí uma gradual desvalorização do preço médio desses produtos, acentuada a partir do ano 2000, sobretudo pela China.

A participação de rochas processadas, no total do faturamento, evoluiu de 49,9% em 1999 para 66,0% no ano 2002 (Fig. 3.4). Em volume físico essa participação de rochas processadas evoluiu de 19,5% em 1999 para 36,5% no ano 2002.



Especificamente na posição 6802.23.00, que abriga chapas polidas de granito, registrou-se variação de 171,83% em peso no período de 1999 a 2002, com incremento médio anual de 40,9%. A participação dos produtos da posição 6802.23.00, no total exportado, evoluiu assim de 10,5% em 1999 para 21,5% em 2002, quando se atingiram 270,63 mil toneladas de chapas.

Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro mantiveram sua posição como principais exportadores brasileiros de rochas ornamentais (Quadro 3.4), destacando-se a evolução positiva do Espírito Santo e do Rio de Janeiro com a comercialização de chapas de granito, bem como de Minas Gerais com incremento das vendas de produtos de ardósia, quartzitos foliados e pedra-sabão.

Na base exportadora observou-se maior crescimento do número de empresas com negócios nas posições de rochas processadas. O Espírito Santo consolidou sua posição de principal *cluster* de mármore e granitos no Brasil, respondendo por 42,7% em valor do total das exportações brasileiras e por mais de 50% em valor das exportações brasileiras

de rochas processadas em 2002. O estado do Rio de Janeiro ultrapassou o estado da Bahia, tornando-se o terceiro maior exportador brasileiro de rochas, enquanto Minas Gerais contrabalançou a queda das exportações de blocos de granito com o aumento das exportações de produtos de ardósia e quartzitos foliados (pedra São Tomé).

Quadro 3.4 – Evolução das Exportações do ES, MG, BA, RJ, SP e CE Valores em US\$ milhões								
Estados	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Espírito Santo	59,61	70,02	84,62	116,05	128,70	170,19	224,60	337,40
Minas Gerais	72,82	74,76	74,47	73,42	70,37	77,17	94,10	119,00
Bahia	23,96	21,28	19,2	20,92	17,89	17,85	20,30	19,30
Rio de Janeiro	8,56	12,42	16,9	22,03	21,91	28,32	34,00	45,10
São Paulo				11,1	9,3	11,5	15,3	20,6
Ceará						2,50	6,40	12,20

Evidenciou-se a melhoria contínua da qualidade dos materiais rochosos de revestimento colocados no mercado interno, bem como avanços significativos de produtividade na lavra, beneficiamento e acabamento. Registrou-se, além disso, redução de custos dos processos industriais e obtenção de preços ainda bastante competitivos para rochas processadas simples e especiais, nos mercados interno e externo.

Apesar da persistente retração da construção civil no Brasil, diversos novos materiais foram apresentados visando ao atendimento do mercado externo, com destaque para os metaconglomerados, granitos pegmatóides, quartzitos brancos maciços, granitos brancos e amarelos, granitos com quartzo azul e mármore variados de Minas Gerais e Ceará. O Brasil foi assim mundialmente destacado pela sua espetacular “geodiversidade”, sobretudo para rochas silicáticas (granitos) e silicosas (quartzitos).

Frentes promissoras de produção começaram a ser viabilizadas em Goiás (serpentinóis) e Minas Gerais (mármore desenhados). Houve razoável fortalecimento de algumas aglomerações produtivas, salientando-se os granitos das porções norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais, e de ardósias e quartzitos foliados também em Minas Gerais, o de basaltos no Rio Grande do Sul, o de mármore bege (travertinos) na Bahia e o de pedra Morisca no Piauí.

Do quadro econômico brasileiro de 2002, o que se pode destacar como mais relevante para o setor de rochas foi, por um lado, a forte desvalorização cambial, provocada sobretudo pelas especulações acerca da nova base política nacional e, por outro lado, o aumento da inflação e conseqüente manutenção das altas taxas de juros para financiamentos em geral. Tais dificuldades foram, ao longo do ano, também alimentadas pela expectativa do

conflito no Iraque, pela continuidade da crise argentina e pela retração do Mercosul.

A desvalorização cambial inibiu as importações de bens de capital e produtos, incrementando por outro lado as exportações e produzindo superávits significativos na balança comercial, inclusive para o setor de rochas. As exportações de rochas processadas foram alavancadas pela denominada “bolha imobiliária” dos EUA e, a de blocos, retomada pela grande demanda dos chineses pelos granitos brasileiros. A retração da construção civil para imóveis novos foi parcialmente compensada pela expansão do mercado de reforma de imóveis usados.

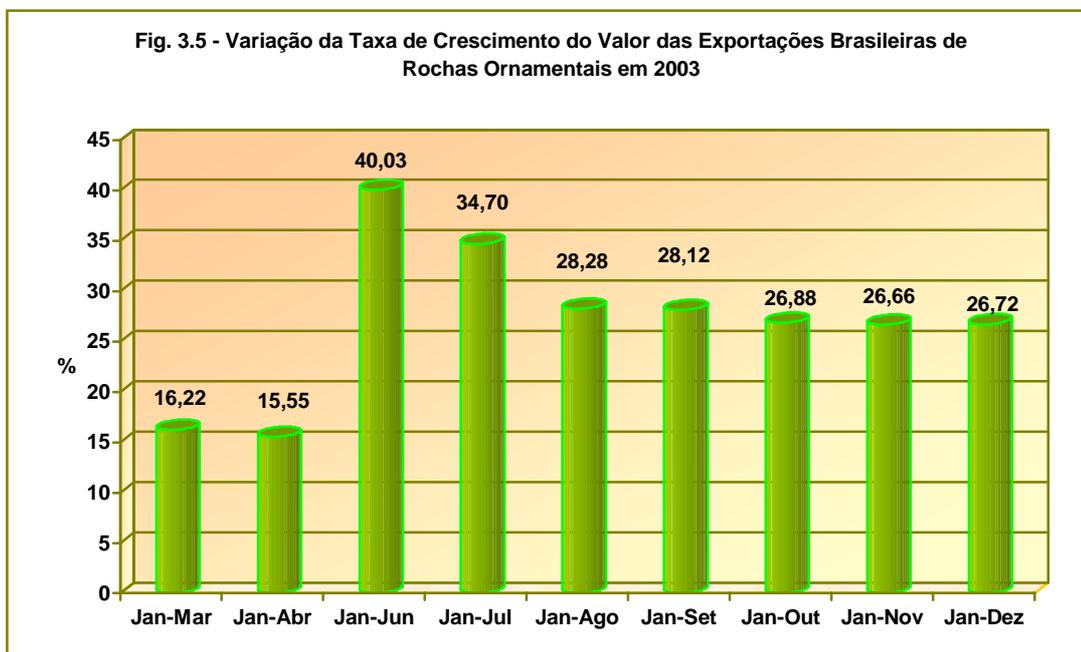
Também como resultado da desvalorização cambial e conseqüente aumento de competitividade brasileira no mercado internacional, acentuou-se a atratividade para instalação de empresas estrangeiras do setor de rochas,

pontuando as iniciativas com plantas de beneficiamento no Espírito Santo.

Nesse contexto político e econômico as exportações brasileiras de rochas fecharam 2002 com US\$ 338,8 milhões e 1,26 milhão de toneladas, com expressivo incremento de 20,93% em valor e de 14,49% em peso frente a 2001. As rochas processadas compuseram 36,5% do volume físico e 66,0% do faturamento dessas exportações, somando US\$ 223,72 milhões e 460.707,42 t.

Índices de Desempenho em 2003

As exportações brasileiras de rochas ornamentais tiveram em 2003 o mais notável desempenho da história do setor, atingindo US\$ 429,3 milhões e compondo um incremento de 26,7% frente a 2002 (Fig. 3.5), o que superou o recorde de 26,0% anteriormente anotado em 1997.



Este desempenho, que antecipou metas projetadas apenas para 2004, acompanhou os ótimos resultados obtidos pelos quatro grandes estados exportadores brasileiros: Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia. Mais importante, o desempenho de 2003 foi calcado nas exportações de rochas processadas, que tiveram incremento de 34,6% e somaram US\$ 301,0 milhões, perfazendo 70,1% do total das exportações brasileiras. Refere-se ainda que a variação média anual do faturamento das exportações brasileiras do setor de rochas, para o período de 1998 a 2003, situou-se em 14%, com incremento total equivalente a 103,9% nesse período.

Estima-se que pela posição 6802.23.00, responsável por 54,2% do faturamento das exportações brasileiras em 2003, tenham sido comercializadas cerca de 7,2 milhões de m² de chapas (base de 2 cm de espessura). O total de chapas e lajotas serradas em teares e talha-blocos, incluindo-se aquelas de mármore, travertinos, pedra-sabão e quartzitos maciços, exportado em 2003, deve ter assim se aproximado de 8,0 milhões de m².

Destaca-se que tanto a participação percentual das rochas processadas no faturamento das exportações brasileiras de 2003 (70,1%), quanto a estimativa do total de chapas serradas e exportadas em 2003 (8,1 milhões de m² – vide Fig. 3.6), são equivalentes ou até ligeiramente superiores às projeções mais otimistas do documento “*Rochas Ornamentais no Século XXI*”, elaborado pela ABIROCHAS³/CETEM⁴ no ano 2001.



³ ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

⁴ CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

Balanço das Exportações Brasileiras em 2004

As exportações brasileiras de rochas ornamentais bateram novo recorde histórico de crescimento em 2004, somando US\$ 600,96 milhões e marcando variação positiva de 39,97% frente a 2003 (Fig. 3.7). Em volume físico, essas exportações de 2004 atingiram 1.840.434,51 toneladas, o que representou incremento de 20,17% frente a 2003. O valor exportado no mês de dezembro foi de US\$ 58,25 milhões, correspondente a um volume físico de 151.395,62 toneladas.

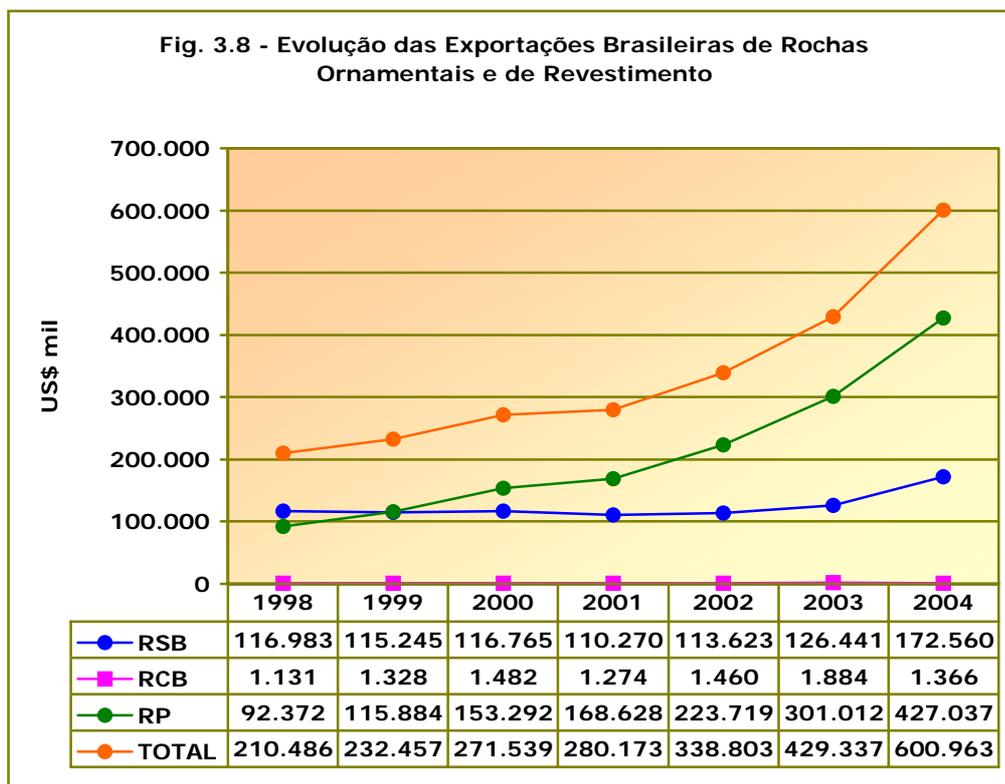
Confirmaram-se assim as previsões da ABIROCHAS, que ao final de 2003 projetou, em um cenário favorável, exportações de US\$ 600 a US\$ 625 milhões para 2004. Refere-se, a propósito, que as exportações de 2004 ultrapassaram as de 2003 em US\$ 171,63 milhões, valor este superior ao total do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 1996.

Refere-se, também a propósito, que a participação das rochas ornamentais no total das exportações brasileiras evoluiu de 0,59% em 2003 para 0,62% em 2004, podendo-se atingir 1% já em 2006. Mais uma vez, como se tem observado quase invariavelmente ao longo da última década, em 2004 a taxa de crescimento das exportações de rochas (+39,97%) foi superior ao crescimento do total das exportações brasileiras (+32,0%).

As exportações de rochas processadas somaram US\$ 427,04 milhões (Fig. 3.8) e tiveram participação de 71,06% no total do faturamento, registrando crescimento de 41,87% em valor e de 41,13% em volume físico frente a 2003. A participação em peso dessas rochas processadas evoluiu de 40,74% em 2003 para 47,85% em 2004, devendo superar o de rochas brutas já em 2005.



Fig. 3.8 - Evolução das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento



Os principais produtos exportados foram as chapas beneficiadas de granito da posição 6802.23.00, que compuseram 55,06% do total do faturamento, seguindo-se os blocos e chapas brutas de granito das posições 2516.11.00, 2516.12.00 e 6802.93.90, com 27,42%; as ardósias das posições 6803.00.00 e 2514.00.00, com 10,07%; os quartzitos foliados (tipo pedra São Tomé) da posição 6801.00.00, com 3,86%; os blocos e chapas de quartzitos maciços das posições 2506.21.00 e 2506.29.00, com 1,26%; e, os produtos de pedra-sabão das posições 6802.29.00 e 2526.10.00, com 1,02%.

As exportações pela posição 6802.93.90 somaram 45.663,61 toneladas apenas no mês de dezembro, contra 43.988,42 toneladas exportadas de janeiro a novembro. Parece ter havido, assim, forte inclusão de chapas beneficiadas (polidas) de granito entre os blocos tradicionalmente exportados, seguindo-se determinação expedida pela alfândega do Espírito Santo (a partir de 01.12.04, as chapas polidas deveriam enquadrar-se, de acordo com a alfândega estadual, na

classificação fiscal 6802.93.90). Esta possibilidade é reforçada pela variação do preço médio dos produtos exportados pela posição 6802.93.90, que praticamente duplicou de novembro para dezembro de 2004. Não fosse esta troca de posição fiscal, efetivada isoladamente no Espírito Santo, a participação contabilizada de rochas processadas, no total exportado, teria atingido 75% em faturamento e 50% em volume físico.

Outras variações positivas e significativas do preço médio dos produtos comercializados foram anotadas para as posições 2516.12.00 (+10,77%), 2516.11.00 (+7,79%), 2506.29.00 (+8,14%), 6801.00.00 (+4,87%) e 6802.29.00 (+5,82%). No caso das posições 2516.12.00 e 2516.11.00, a variação é explicada não só pelo aumento de preço dos blocos de granito exportados (o aumento do frete marítimo em 2004 restringiu a comercialização de blocos de granito com menor valor agregado), como pela inclusão de chapas brutas entre esses blocos.

Entre os produtos exportados, as principais taxas de crescimento foram referentes às chapas beneficiadas de granito, aos produtos de ardósia, aos blocos e chapas brutas de granito, aos quartzitos, tanto maciços quanto foliados, e aos produtos de pedra-sabão. O principal destino das exportações brasileiras de rochas ornamentais, e maior responsável pelo notável crescimento dessas exportações em 2004, continua sendo o mercado dos EUA.

Prevê-se em 2005 um desempenho equivalente, ou apenas ligeiramente inferior ao de 2004, para as exportações brasileiras de rochas ornamentais, podendo-se assim projetar faturamento de US\$ 780 a 810 milhões ao final do ano em curso. Esta meta será factível se:

- A progressão de demanda, para os mercados interno e externo, não exceder a capacidade instalada do já quase saturado parque brasileiro de beneficiamento;
- Ao contrário de 2004, não ocorrer nenhum “apagão” logístico da estrutura portuária da região sudeste e particularmente do Espírito Santo;
- For revertida a tendência de desvalorização do dólar americano frente à moeda brasileira, pois as atuais taxas de câmbio já se encontram em um patamar bastante desfavorável para os exportadores.

A síntese de dados relativos às exportações de 2004 é mostrada no Quadro 3.5.

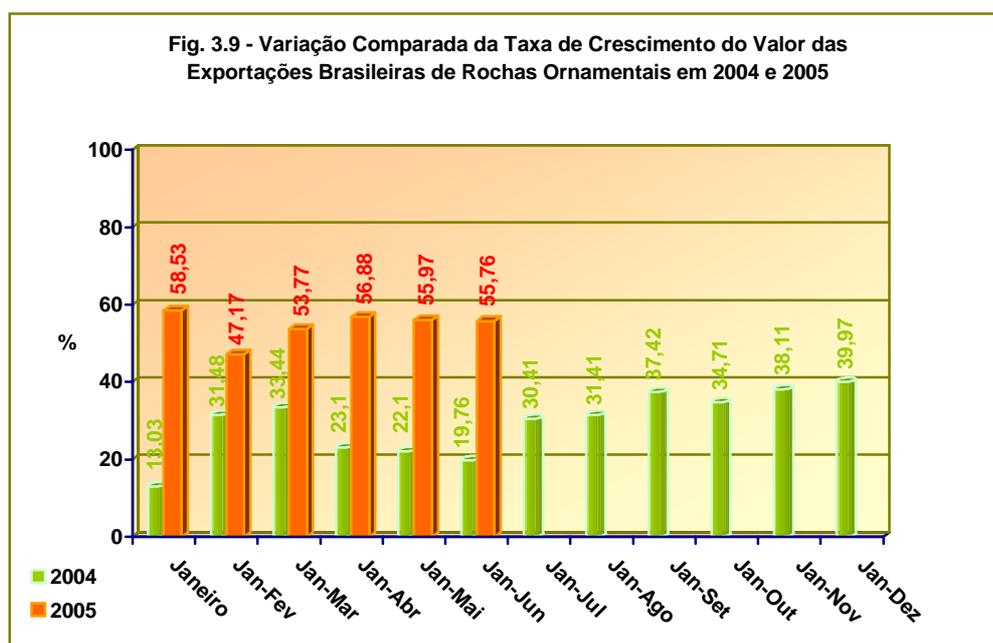
Quadro 3.5 - Síntese de Dados sobre as Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2004	
<i>Faturamento acumulado</i>	US\$ 600,96 milhões
<i>Volume físico acumulado</i>	1.840.434,51 toneladas
<i>Exportação de rochas processadas</i>	US\$ 427,04 milhões / 880.652,33 t
<i>Exportação de rochas silicáticas brutas</i>	US\$ 172,56 milhões / 950.456,38 t
<i>Exportação de rochas carbonáticas brutas</i>	US\$ 1,37 milhões / 9.325,80 t
<i>Participação de rochas processadas</i>	71,06% em valor e 47,85% em peso
<i>Participação de rochas brutas</i>	28,71% em valor e 51,64% em peso
<i>Valor exportado em dezembro/2004</i>	US\$ 58,25 milhões
<i>Volume físico exportado em dezembro/2004</i>	151.395,62 t
<i>Crescimento frente a 2003:</i>	
▫ Faturamento	+39,97%
▫ Volume físico	+20,17%
▫ Rochas processadas	+41,87% em valor e +41,13% em peso
▫ Rochas silicáticas brutas	+36,47% em valor e +6,19% em peso
▫ Rochas carbonáticas brutas	-27,51% em valor e -25,44% em peso
▫ Chapas beneficiadas (6802.23.00)	+42,23% em valor e +42,48% em peso
▫ Produtos de ardósia (6803.00.00)	+46,84% em valor e +47,07% em peso
▫ Pedras de calcetar (6801.00.00)	+41,35% em valor e +34,79% em peso

As Exportações Brasileiras do 1º Semestre de 2005

Quadro Geral de Desempenho

No 1º semestre de 2005, as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais e de revestimento somaram US\$ 347,74 milhões, correspondentes à comercialização de 1.010.723,40 toneladas de produtos diversos. Frente ao

mesmo período de 2004, esses valores representaram uma expressiva variação de +55,76% no faturamento (Fig. 3.9) e +46,67% no volume físico das exportações. Nestes termos, as exportações consolidadas até junho de 2005 excederam em US\$ 124,49 milhões e 321.627,71 toneladas, o que foi comercializado no mesmo período de 2004.



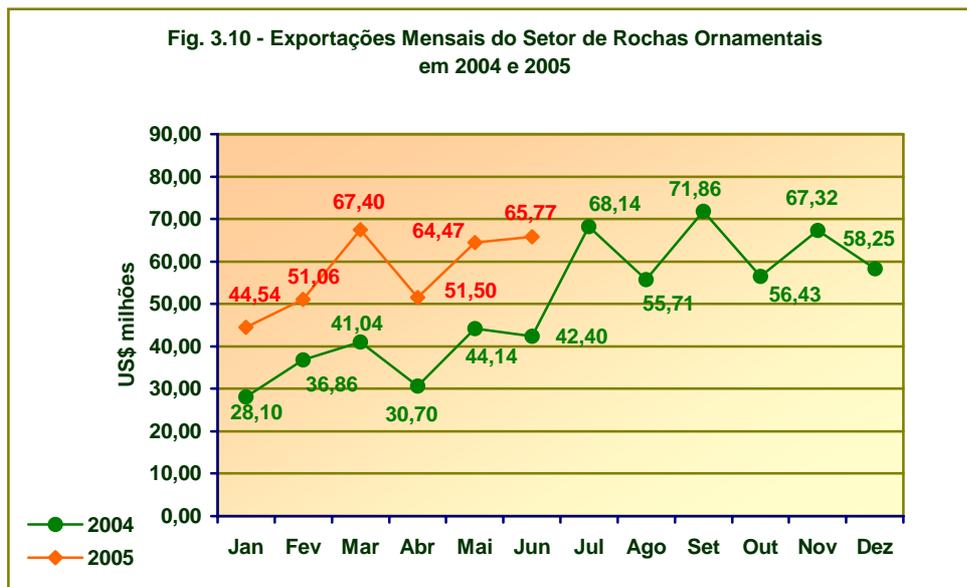
As exportações efetuadas especificamente no mês de junho somaram US\$ 65,77 milhões e 187.085,48 toneladas, representando variação de respectivamente +2,0% e -2,8% frente ao último mês de maio. Preservou-se assim o patamar mensal de exportações compatível ao de março e maio de 2005 e da média do 2º semestre de 2004, recuperando-se a queda registrada no último mês de abril (Fig. 3.10).

Computando-se os últimos 12 meses (julho de 2004 a junho de 2005), essas exportações somaram US\$ 725,46 milhões, ultrapassando a anualização de junho de 2004 a abril de 2005 (US\$ 702,1

milhões). A Fig. 3.11 mostra a evolução mensal das exportações em 2004 e no 1º semestre de 2005.

Aspectos Destacados

As exportações referentes a rochas beneficiadas, tanto semi-acabadas quanto prontas para o consumidor final, abrangendo materiais de processamento simples e especial, somaram US\$ 268,10 milhões e representaram 77,09% do total exportado pelo setor de rochas. Em volume físico, essas rochas processadas somaram 508.492,83 toneladas e perfizeram 50,31% do total das exportações do setor.



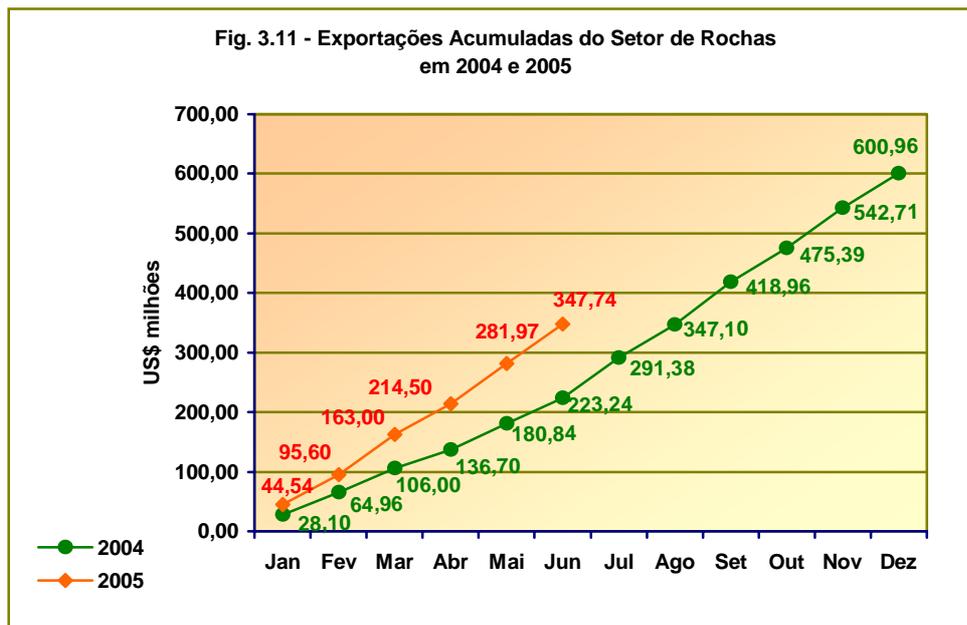
A variação do faturamento das rochas processadas foi assim de 51,03% frente ao mesmo período de 2004, anotando-se 28,13% de incremento para o volume físico exportado. Especificamente para as chapas beneficiadas de granito, computadas nas posições 6802.23.00 e 6802.93.90, registrou-se variação positiva de 62,48% no faturamento e de 40,19% no volume físico exportado. Foram assim comercializadas 335.059,22 toneladas de chapas beneficiadas de granito nos primeiros seis meses do ano, gerando-se um faturamento de US\$ 216,72 milhões.

Considerações Finais

- Destaca-se que as exportações de rochas processadas, em 2005, representaram 120,07% do total das exportações do setor no mesmo

período de 2004. Apenas com chapas beneficiadas de granitos e mármore, o Brasil faturou em 2005, cerca de 97,3% do total das exportações do mesmo período de 2004.

- Houve um razoável reajuste dos preços de alguns dos principais produtos brasileiros de exportação do setor de rochas, destacando-se o incremento do preço médio registrado para as chapas beneficiadas de granito (+6,6%), para as ardósias da posição 6803.00.00 (+6,6%) e para os quartzitos foliados da posição 6801.00.00 (+6,3%). Esses reajustes foram efetivados pelos exportadores, como forma de compensar as perdas impostas pela apreciação da moeda brasileira frente ao US dólar.



- Os reajustes praticados para as chapas beneficiadas de granito não refrearam sua comercialização, pois o mercado imobiliário residencial dos EUA, que responde por mais de 80% das exportações brasileiras dessas chapas, está em uma fase exuberante de crescimento e é considerado o novo motor da economia norte-americana, tendo assim possibilidade de absorver os aumentos de preço. Além disso, esses reajustes se sobrepuseram a um patamar de preços bastante baixo, induzido pelo estrangulamento da estrutura de transporte marítimo, ocorrida no Brasil em 2004, quando os exportadores reduziram preços para manter seus clientes e contratos.
- O mesmo não ocorreu para ardósias⁵ e quartzitos foliados⁶, cujos produtos

comerciais têm no geral menor valor agregado que o dos granitos e, além disso, têm forte base de mercado nos países europeus, boa parte dos quais com um quadro já persistente de recessão econômica.

- Para os blocos de granito, observou-se incremento do preço médio ao longo dos cinco primeiros meses do ano, passando-se, já ao final do primeiro semestre, para uma situação de recuo desses preços médios. Com os expressivos índices de crescimento das exportações de blocos, pode-se estar chegando num excesso de oferta, até para os granitos exóticos mais

⁵ As exportações de ardósias (posições 6803.00.00 e 2514.00.00) somaram US\$ 30,74 milhões e 91.653,77 toneladas, com variação de respectivamente 9,55% e 5,31% frente ao mesmo período de 2004. As taxas de variação até agora observadas em 2005, apesar de positivas, são as menores dos últimos 10 anos, sinalizando ou uma possível reação negativa, do mercado internacional, ao reajuste de preço determinado pelas maiores empresas exportadoras do Brasil, e/ou esgotamento qualitativo e quantitativo da capacidade instalada do parque de beneficiamento

em Minas Gerais. Refere-se neste caso que o preço médio dos produtos de ardósia comercializados na posição 6803.00.00 passou de US\$ 316,1/tonelada, em 2004, para US\$ 336,9/tonelada em 2005, com variação registrada de +6,59%.

⁶ Da mesma forma, ainda que não intensamente, as exportações pela posição 6801.00.00, que abriga sobretudo quartzitos foliados do tipo pedra São Tomé, evidenciaram taxas de variação de 26,08% em valor e de 18,57% em peso, aquém dos anos anteriores, com variação positiva de 6,33% no preço médio dos produtos comercializados. São neste caso cabíveis as mesmas observações grafadas para as ardósias.

recentemente colocados no mercado e com grande aceitação nos EUA. O acentuado crescimento de venda de blocos pode estar sinalizando para o esgotamento da capacidade instalada do parque de beneficiamento de chapas⁷, uma situação em que os importadores de blocos (sobretudo Itália e China) suprem a lacuna brasileira no mercado internacional de chapas.

- Os patamares de valor e volume físico exportados mensalmente pelo setor de rochas no 2º semestre de 2004 e 2º trimestre de 2005, nivelados ao redor de US\$ 65 milhões e 180 mil toneladas, podem ser indicativos tanto de uma limitação produtiva quanto de uma limitação da estrutura de oferta de transporte marítimo. Neste quadro, é possível aventar recuo das taxas de crescimento das exportações no 2º semestre, em lugar da sazonalidade positiva normalmente esperada.

Os cenários de projeção para 2005 admitem portanto algumas variáveis ainda não muito bem controladas, que poderão pesar negativamente no desempenho das exportações: a mais importante no curto prazo é a da taxa cambial, extremamente desfavorável para os exportadores, e que poderá até retirar algumas empresas brasileiras do mercado internacional; a outra variável, de curto e médio prazo, é aquela relativa ao esgotamento da capacidade instalada do parque brasileiro de beneficiamento de chapas.

Parece ser prudente trabalhar, em 2005, com projeções mais conservadoras que aquelas até agora assumidas para as exportações do setor de rochas. Pode-se aventar taxas de incremento entre 30% e 40%, que traduziriam transações de US\$ 780 milhões a US\$ 840 milhões ao final de 2005.

A partir do conjunto de indicadores disponíveis e condicionantes observadas no setor de rochas, pode-se também sugerir que a nossa capacidade exportadora, com o atual mix de produtos exportados, esteja limitada a um teto de 190 mil toneladas e US\$ 75 milhões mensais. Essas balizas traduzem capacidade exportadora anual de até 2,28 milhões de toneladas e de US\$ 900 milhões, sinalizando US\$ 800 milhões para 2005 (US\$ 350 milhões fechados no 1º semestre e US\$ 450 milhões projetados no 2º semestre).

⁷ O esgotamento da capacidade instalada de serragem de blocos e beneficiamento de chapas, no Brasil, tem sido preconizado pela ABIROCHAS, de forma continuada, pelo menos ao longo dos últimos 5 anos. Este problema está, em grande parte, relacionado à não renovação dos extarifários, para compra de máquinas e equipamentos importados, desde o mês de agosto de 2004. O quadro só não é mais agudo, porque parte da produção, voltada para o mercado interno que está em crise, foi deslocada para o mercado externo.

Quadro 3.6 - Síntese de Dados sobre as Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento no 1º Semestre de 2005

<i>Faturamento acumulado</i>	US\$ 347,74 milhões
<i>Volume físico acumulado</i>	1.010.723,40 toneladas
<i>Exportação de rochas processadas</i>	US\$ 268,07 milhões / 508.492,83 t
<i>Exportação de rochas silicáticas brutas</i>	US\$ 77,88 milhões / 495.194,64 t
<i>Exportação de rochas carbonáticas brutas</i>	US\$ 1,79 milhão / 7.035,94 t
<i>Participação de rochas processadas</i>	77,09% em valor e 50,31% em peso
<i>Participação de rochas brutas</i>	22,91% em valor e 49,69% em peso
<i>Valor exportado em junho/2005</i>	US\$ 65,77 milhões (+2,0% frente a maio/05)
<i>Volume físico exportado em junho/2005</i>	187.085,48 t (-2,8% frente a maio/2005)
<i>Crescimento frente a janeiro-junho de 2004:</i>	
▫ Faturamento	+55,76%
▫ Volume físico	+46,67%
▫ Rochas processadas	+51,03% em valor e +28,13% em peso
▫ Rochas silicáticas brutas	+71,66% em valor e +70,77% em peso
▫ Rochas carbonáticas brutas	+354,39% em valor e +251,05% em peso
▫ Chapas beneficiadas de granito (6802.23.00 e 6802.93.90)	+62,48% em valor e +40,19% em peso
▫ Produtos de ardósia (6803.00.00 e 2514.00.00)	+9,55% em valor e +5,31% em peso
▫ Pedras de calcetar (6801.00.00)	+26,08% em valor e +18,57% em peso

A IMPORTÂNCIA DOS PRODUTOS ACABADOS PARA AS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O Conceito de Marmoraria Exportadora

O Brasil está vivenciando sua segunda grande onda exportadora do setor, relativa a rochas processadas semi-acabadas e envolvendo sobretudo chapas de granito. Esta onda sucedeu à de exportação de blocos e está lastreando à de exportação de rochas processadas

acabadas, prontas para o consumidor final (*custom made*).

A terceira onda exportadora do Brasil, correspondente à de produtos finais, já está sendo esboçada pelo avanço da comercialização de ladrilhos padronizados e bancadas/tampos de granitos, telhas de ardósia, peças para fornos e lareiras em pedra sabão, lápides em granitos movimentados, mosaicos telados em ardósia, pedra pavê e anticatos em quartzitos foliados, brindes e adornos em mármore e em granitos

azuis, peças para paisagismo (bancos e fontes) em quartzitos azuis, mobiliário em travertino Bege Bahia, apenas para citar os itens mais relevantes.

A exportação desses produtos acabados, bens destinados diretamente ao consumidor final, é considerada a próxima fronteira da indústria brasileira das rochas ornamentais e de revestimento. É o conceito definido pela ABIROCHAS e SIMAGRAN-SP⁸ como “Marmoraria Exportadora”, lastreado na agregação de valor dos produtos finais do setor.

Se na chapa polida agrega-se até 4,5 vezes mais valor que em relação aos blocos brutos, nos produtos finais o fator de multiplicação atinge até 10 vezes mais valor. Assim, se em 2001 tivéssemos substituído a exportação de blocos por chapas polidas, o faturamento chegaria a US\$ 654,63 milhões, ou a US\$ 1,25 bilhão se a substituição dos blocos fosse efetuada por produtos finais equivalentes.

Os projetos ora em desenvolvimento com apoio financeiro da APEX⁹ orientam-se para o desafio da agregação de valor e fundamentam-se no conceito da “Marmoraria Exportadora”, já que os produtos finais ou acabados e serviços correlatos constituem, conforme já referido, a área tradicional de atuação e especialidade das marmorarias. O estado de São Paulo, que representa o principal arranjo produtivo de demanda de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil, concentrando quase 50% do consumo nacional, tem as credenciais necessárias para liderar essa nova etapa do setor no mercado internacional.

A iniciativa da “Marmoraria Exportadora” permitirá reforçar a divulgação da “marca Brasil”, firmando a noção das rochas brasileiras “*made in*

Brazil”. A prospecção de negócios, focados nos produtos finais e na venda de serviços, envolverá estudos para discriminação e seleção de nichos de mercado e suas bases de atendimento, incluindo os canais preferenciais de comercialização no exterior.

Destaca-se neste sentido um processo dinâmico e continuado de desenvolvimento de linhas de produtos para as indústrias hoteleira, moveleira, de iluminação, de brindes e presentes, de arte funerária e outras, abrangendo tampos e pés de mesa, balcões, pias, lavatórios, lareiras, espessores, aparadores, cúpulas, cinzeiros, esferas, porta-papel, estantes, utensílios de cozinha e cozimento, além de peças *cut-to-size* para obras contratadas e ambientes específicos (social, banho, cozinha, serviço).

A Desvalorização de Blocos e Chapas no Mercado Internacional

Outra questão de muito interesse para análise refere-se à continuada queda do preço médio dos produtos comerciais exportados pela posição 6802.23.00, que abriga sobretudo chapas polidas de granito (Quadro 4.1). A participação desses produtos, no total do faturamento das exportações brasileiras do setor de rochas, evoluiu de 35,2% em 1999 para 57,1% em 2004, ao mesmo tempo em que seu preço médio recuou 27,4%, passando de US\$ 822/t (US\$ 46,0/m²)¹⁰, para US\$ 596/t (US\$ 33,4/m²).

⁸ SIMAGRAN-SP – Sindicato da Indústria do Mármore e Granito do Estado de São Paulo

⁹ APEX – Agência de Promoção de Exportações do Brasil

¹⁰ Metros quadrados equivalentes de chapas com 2 cm de espessura.

Quadro 4.1 - Variação do Preço Médio das Chapas de Granito Exportadas pela Posição 6802.23.00				
Período	Valor Exportado (US\$ milhões)	Participação no Faturamento (%)	Preço Médio (US\$/t)	Variação do Preço Médio (%)
1999	81,79	35,2	822	-9,1
2000	110,88	40,8	722	-12,2
2001	120,57	43,0	685	-5,1
2002	168,37	49,7	622	-9,2
2003	232,64	54,2	603	-3,1
2004	166,31*	57,1	596	-1,2

Obs.: * até julho/2004; preço médio 1999 = US\$ 46,0/m²; preço médio 2004 = US\$ 33,4/m²; variação do preço médio 2004/1999 = -27,4%.

Com o valor de referência de 1999 (US\$ 822/t), as exportações brasileiras do setor de rochas poderiam ter somado US\$ 513,7 milhões já em 2003, contra os US\$ 429,3 milhões efetivamente apurados. Da mesma forma, considerando-se o valor de referência de 1999 e um incremento de 45% no volume físico de chapas exportadas em 2004, frente a 2003, o faturamento total das exportações de 2004 poderia atingir US\$ 686,3 milhões, contra os US\$ 560,0 milhões previstos.

Assim como acontece na comercialização de blocos e rochas brutas em geral, estão se tornando cada vez menores as margens de lucro na venda de chapas, fazendo com que o faturamento evolua sempre aquém do incremento do volume físico das exportações. Tal situação inspira cuidados e traduz vulnerabilidades, ainda mais quando as vendas dessas chapas são muito concentradas em um só mercado (os EUA são responsáveis por 85% do faturamento das exportações brasileiras pela posição 6802.23.00) e sofrem a concorrência de países (China, por exemplo) que oferecem preços muito baixos.

Este quadro realça a importância dos produtos acabados, prontos para o consumidor final e de maior valor agregado, como alvo preferencial de nossas exportações. A noção da venda de produtos finais e serviços tem sido consistentemente sinalizada pelo Programa Marmoraria Exportadora, colocado como símbolo da terceira onda de comércio exterior do setor de rochas, e priorizado como foco de fomento pelos projetos da APEX.

CONCLUSÕES

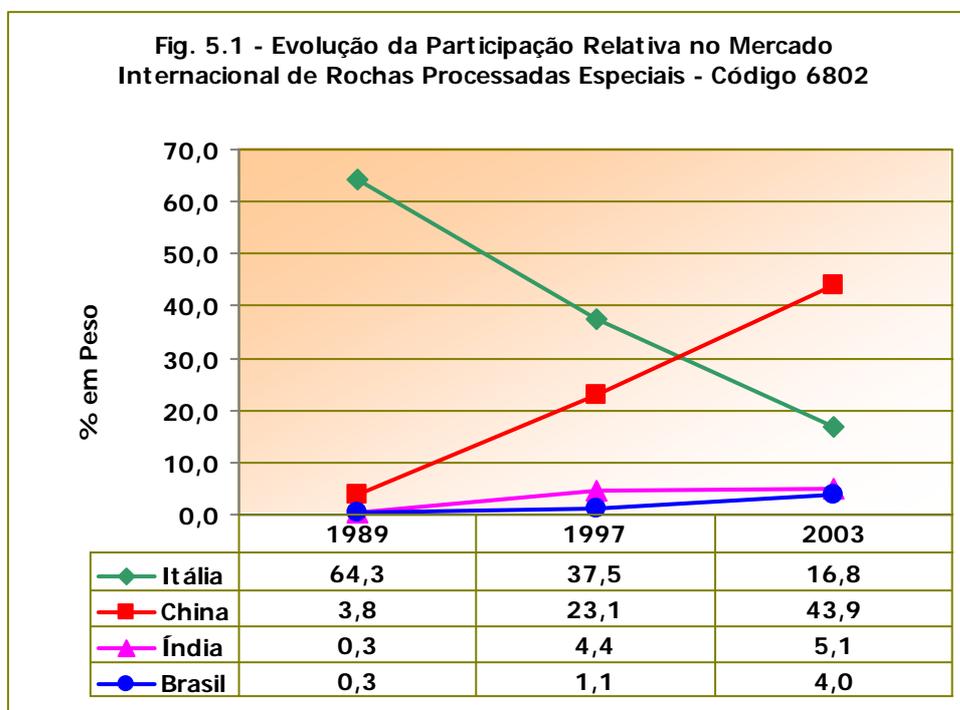
Um aspecto bastante notável, e de particular interesse para o setor de rochas, é a tendência de concentração das atividades de lavra e beneficiamento em países economicamente ainda emergentes e de dimensões continentais, como China, Índia e Brasil, apenas citando os principais (Fig. 5.1). No médio e longo prazos, as políticas setoriais de fomento deverão considerar essa tendência, além de observar a evolução dos países do centro e leste europeu no mercado internacional. Por problemas de adequação ambiental e margens de agregação de valor, países como Itália,

Espanha e Alemanha terão seu negócio de rochas cada vez mais focados na tecnologia de máquinas e equipamentos, e na importação de produtos acabados. Nesses países, as atividades de lavra e beneficiamento deverão ficar restritas a nichos de especialidade, como a dos mármore brancos de Carrara, dos *limestones* amarelos e ardósias da Espanha e da arte funerária na Alemanha.

Por questões de competitividade, deverá se acentuar o processo de migração de empresas de lavra e beneficiamento para os referidos países emergentes. Da mesma forma, estes novos *players* deverão atrair empreendimentos tecnológicos, através de “*joint-ventures*” para produção de máquinas, equipamentos e insumos. É preciso criar condições adequadas para essa atração de empreendimentos, tanto de lavra e beneficiamento, quanto de fabricação de máquinas e equipamentos. É também necessário definir uma posição quanto ao fornecimento de granitos brutos

para a China, que é compradora de nossa matéria-prima e concorrente de nossos produtos beneficiados. Poderiam e deveriam ser mais explorados pelo setor, alguns acordos de cooperação internacional, sobretudo com a Itália e outros países europeus onde estão se restringindo as atividades de lavra e beneficiamento de rochas.

A China apresenta-se, até o momento, como a principal beneficiária desse processo global de rearticulação do setor, tendo já superado a Itália em produção, capacidade de beneficiamento e exportação de rochas processadas. Praticando preços politicamente administrados e calcados no baixíssimo custo de sua mão-de-obra, a China está subvertendo a cultura de utilização das rochas ornamentais e de revestimento, padronizando os produtos comerciais, massificando seu consumo e transformando-os em *commodities* minerais com baixo valor agregado.



Apoio do MCT ao Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento

Elzivir Azevedo Guerra

Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Coordenação-Geral de Tecnologias Setoriais, Esplanada dos Ministérios, Bl. E, 3º andar, s. 363, 70067 - 900 Brasília DF, equerra@mct.gov.br

INTRODUÇÃO

O Brasil detém atualmente reserva de rochas ornamentais e de revestimentos correspondente à cifra de 8,57 bilhões de metros cúbicos (reserva medida e indicada) para mais de 500 variedades de materiais, segundo os dados do Anuário Mineral Brasileiro de 2005 [*Brasil, 2005*][DRM-RJ, 2005]. A produção oficial brasileira de 2004, apresentada pelas próprias empresas através dos relatórios anuais de lavra ao Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), foi de 4,33 milhões de toneladas, mas, a produção real, indicada pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, foi de 6,4 milhões de toneladas. A diferença entre os dados de produção do DNPM e da ABIROCHAS, portanto, aponta o nível de informalidade equivalente ao peso de 2,07 milhões de toneladas [*Matta, 2005*]. Essa informalidade perpassa outros segmentos da produção mineral, quando se trata das pequenas unidades produtivas, que apresentam em sua grande maioria baixa capacidade produtiva, baixa remuneração, tecnologias inadequadas, geração de rejeitos sem tratamentos adequados, danos ao meio ambiente etc.. Isso vem acarretando atualmente problemas de ordem legal mineral, tributária, ambiental e trabalhista em vários pólos de mineração de rochas ornamentais e de revestimento por meio da atuação dos órgãos de gestão, regulação e fiscalização da produção mineral e do meio ambiente [DRM-RJ, 2005a][IEL-MG e SINDIJÓIAS, 2003]. Não obstante a essa informalidade, o setor tem apresentado uma taxa de exportação crescente, desde a

década de noventa, somando, em 2004, as exportações totais das rochas brasileiras ao valor de US\$ 597,21 milhões, que representa um crescimento em relação ao ano anterior de 39,7% em valor e, em peso, 19,9%, atingindo 1,83 milhões toneladas. O setor também apresenta uma tendência de substituição do bloco bruto pelos produtos manufaturados, como exemplifica as exportações de rochas processadas em 2004, que somaram US\$ 427,04 milhões e tiveram participação de 71,06% no total do faturamento, registrando crescimento de 41,87% em valor e de 41,13% em volume físico frente a 2003. A participação em peso dessas rochas processadas evoluiu de 40,74% em 2003 para 47,85% em 2004, devendo superar o de rochas brutas já em 2005, implicando numa necessidade crescente da inserção de inovação tecnológica para que seja propiciada a agregação de valor aos produtos originados do processamento das rochas e garanta uma diversificação de oferta ao mercado interno e externo e sua competitividade interna e internacional.

No sentido de reduzir a informalidade do setor de rochas ornamentais e de revestimentos, o Ministério da Ciência e Tecnologia vem fomentando a pesquisa científica, o desenvolvimento tecnológico e a capacitação de recursos humanos desse setor visando a aumentar a sua competitividade, a melhorar as suas condições ambientais e de saúde e segurança do trabalho. Adicionalmente, as políticas nacionais de mineração [MME/SGM, 2005], desenvolvimento regional [PNDR, MI, 2003], industrial e de comércio exterior

instrumentos de apoio e fomento à P, D & I para micro e pequenas empresas existente atualmente no sistema C&T do Governo Federal.

APOIO DO MCT AO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

O apoio do MCT ao setor de rochas ornamentais e de revestimento tem-se baseado na Política do Governo Federal de promoção e aumento de competitividade e fortalecimento das micro e pequenas empresas brasileiras, parte essencial da Política Nacional de Formalização da Produção Nacional [PNFPM/MME 2005], da Política Nacional de Desenvolvimento Regional [PNDR/MI, 2005], de Ciência e Tecnologia [MCT, 2005; Lei de Inovação, 2004 e Decreto de regulamentação, 2005] e da Política Industrial, Tecnológica e Comércio Exterior [MDIC, 2004] e como uma forma estratégica de geração de renda e de promoção de desenvolvimento econômico e social. A implementação dessa política para o setor de rochas ornamentais e revestimento tem sido realizada pelo MCT, principalmente, por meio do fomento e apoio à inserção e transferência de ciência, tecnologia e inovação e simultânea execução de programa de capacitação de recursos humanos na área técnica e gerencial, tendo como objetivos o aumento da eficiência da estrutura produtiva, da capacidade de inovação da empresa e expansão de suas exportações.

O apoio do MCT ao setor de rochas ornamentais e de revestimento tem sido realizado por meio de ações de fomento à elaboração de estudos prospectivos de tecnologias e inovação para o setor, à pesquisa aplicada, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, à capacitação de RH e a eventos de divulgação e intercâmbio técnico-científico baseadas nas diretrizes e metas do planejamento estratégico do MCT, do Fundo Setorial Mineral [MCT, 2005b], e do Fundo Verde Amarelo, do Programa de apoio à pesquisa e inovação aos APLs do MCT

[MCT,2004], da ação de popularização e divulgação da ciência através do Programa de Centro Vocacionais Tecnológico de apoio técnico e de capacitação de RH aos APLs, coordenado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (SECIS) do MCT.

Fundo Setorial Mineral/MCT

Uma das principais prioridades do Fundo Setorial Mineral, desde de sua instalação em agosto de 2001 [CT-Mineral, 2001], tem sido o fortalecimento da competitividade da indústria mineral nacional pela capacitação e inovação tecnológica e gerencial, prioritariamente nas micros, pequenas e médias empresas do setor de minerais industriais, aglomeradas em forma de arranjos produtivos locais de base mineral, como demonstra os dados contidos na Tabela I. A SGM/MME tem atuado em parceria com a Secretária de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) do MCT e diretamente em ações de apoio, promoção e desenvolvimento de APLs de base mineral. As ações em parceria referem-se àquelas que recebem investimento do Fundo Setorial Mineral. Os APLs de rochas ornamentais que têm recebido apoio direto da SGM/MME são o da Pedra Sabão em Mariana, MG, e o da Pedra Cariri em Nova Olinda, CE.

A gestão dos recursos mostrados na Tabela I, tem sido feita de maneira compartilhada entre o MCT (Secretária de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) e SECIS), o Ministério de Minas e Energia (SGM e DNPM), a comunidade científica e setor produtivo e, desde de 2003, em parceria com a Rede Brasil de Tecnologia [RBT/MCT, 2005]. O montante de recursos investidos durante o período de 2001 a 2005 pelo Fundo Setorial Mineral em P,D&I e capacitação de RH para o setor mineral foi de R\$ 17.634.400,00. Da Tabela I observa-se que os investimentos no setor de rochas ornamentais e de revestimento têm correspondido a 13,0 % de todos os recursos do Fundo Setorial Mineral e apresenta uma

média anual de R\$ 458.832,54, mostrando o apoio prioritário dado a esse setor pelo Fundo Setorial Mineral. Além disso, ressalte-se o fato da intensificação nos últimos três anos desse apoio em função da implementação prática da política do Governo Federal de apoio a micro e pequenas empresas de mineração, que anteriormente nunca tinham sido contemplados.

Adicionalmente, observa-se da Tabela I que a maior parte dos recursos foram aplicados na região sudeste (65,3%), ocorrendo investimentos também na Região Nordeste (26,7 %) e Centro Oeste (8,0%), que corresponde as regiões que nos últimos anos mais contribuíram para produção brasileira de rochas ornamentais. Os recursos aplicados na Região NE e CO (34,7 %) ultrapassam o mínimo de 30% exigido por lei que devem ser investidos nessas regiões.

Tabela I: Ações implementadas de apoio ao setor de rochas ornamentais e de revestimento pelo Fundo Setorial Mineral (2001 – 2005)

Tipo	Projetos de APLs financiados pelo CT-Mineral	Instituição	Aplicados no setor (R\$)
Estudos	Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral no Brasil	Instituto Metas-MG	54.000,00
	Detalhamento de Arranjos Produtivos Locais de base mineral	IEL/MG	81.000,00
	Caracterização e análise de arranjos e sistemas produtivos locais de base mineral	FUJB- RJ, IE/UFRJ, RedeSist	75.000,00
	Subtotal		210.000,00
Desenvolvimento tecnológico e Inovação - Capacitação de RH	Modernização Tecnológica do Parque Produtor de Rochas Ornamentais da Região NW do RJ	DRM-RJ / CETEM-MCT / UFRJ / INT	274.700,00
	Aproveitamento de Rejeitos de Ardósia	CETEC-MG / COMIG	135.147,84
	Diretrizes e Ações para Melhoria da Competitividade Industrial e Consolidação de Arranjos Produtivos no Setor de Rochas Ornamentais e Revestimentos do Estado de São Paulo	IPT-SP/SIMIGRAN/ Sec. de C&T de SP	152.500,00
	Programa para Desenvolvimento de Redes em Rochas Ornamentais no Espírito Santo	CETEM-MCT- RJ/ Sindirochas	174.700,00
	Montagem e avaliação de protótipo do Ecotear via cooperação Empresa-Instituto de pesquisa	CIC/ES, Cetem-MCT, Ecoteares Ind e Com. Equip. Ltda	386.530,00
	Zoneamento ecológico-econômico de arranjos produtivos de pequenos mineradores	FABRANDT- MG, ANEPAC-SP, SGM – GO, UNIVATES - RS, UFRGS	183.333,33
	Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do calcário do Cariri - Ceará.	Funcap- CE, Cetem-MCT, Centec, sebrae/ce, Asprolarno, Asprobesc	499.500,00
	Subtotal		1.806.411,10

Pesquisa aplicada	Caracterização Geológica e tecnológica de unidades gnáissicas e graníticas do SW de Mato Grosso para fins de exploração como rochas ornamentais e de revestimento	RC-UNESP-SP	49.765,10
	Estudo de controle ambiental das operações de desmonte de rochas de empresas de Mineração da Paraíba	DGM-UFCG- PB	45.986,38
	Reciclagem de resíduo da serragem de granito de Santo Antônio de Pádua-RJ através da incorporação em cerâmica vermelha	UENF-RJ	40.000,00
	Geologia, Petrologia e Prospecção Mineral na Porção Sul da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia: sienitos como rocha ornamental e fundente para as indústrias de cerâmica e vidro.	CPGG/UFBA-BA	47.000,00
	Subtotal		182.751,48
Eventos	IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste	SBG-NE	20.000,00
	I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais / II Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais	Cetem-MCT- RJ	75.000,00
	Subtotal		95.000,00
Total			2.294.162,70

Fundo Verde Amarelo (Universidade e empresa)/MCT

Desde da sua instalação em 2001, o Fundo Verde Amarelo (CT-Verde Amarelo, 2001) vem apoiando o Programa de APL do MCT, cuja coordenação e operação estão

sob a responsabilidade do Departamento de Ações Regionais para Inclusão Social da Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social. Os APLs de Rochas Ornamentais apoiados pelo Fundo Verde Amarelo até 2004 são mostrados na Tabela II.

Tabela II: Ações implementadas de apoio a APLs de Rochas ornamentais pelo Fundo Verde Amarelo (2001 – 2004)

Projetos de APLs financiados pelo Fundo Verde Amarelo	Instituição	Valor (R\$)
Desenvolvimento Tecnológico Integrado do Mármore Bege/BA	FAPESB	200.927,00
Programa para o Desenvolvimento de Redes em Rochas Ornamentais no Espírito Santo	Sindirochas, REDEROCHAS/ES	292.684,00
Arranjo produtivo local de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua	SECTI-RJ, CETEM-MCT/RJ, DRM-RJ, CEFET-RJ	512.527,32
Total		1.006.138,30

Ações do Orçamento do MCT

No sentido de fortalecimento de laboratórios e centros de referências regionais para o setor de rochas ornamentais e de revestimentos, o MCT vem desde 2004 atuando através do Programa de Centro Vocacionais. O CVT – Centro Vocacional Tecnológico é uma unidade de ensino profissionalizante voltada para a difusão de conhecimentos práticos na área de serviços técnicos e para a transferência de conhecimentos tecnológicos na área de processo produtivo. Sua estrutura de ensino está orientada para a capacitação tecnológica da população levando-se em conta a vocação da região onde se insere [SECIS/MCT, 2005]. Esse Programa tem como um das finalidades dar apoio técnico-científico e de formação e capacitação de recursos humanos de APLs, incluindo o de base mineral e do setor de rochas ornamentais e de revestimento. No âmbito desse programa, coordenado pelo Departamento de difusão e Popularização da Ciência para Inclusão Social da SECIS/MCT, vem sendo apoiadas duas ações, sendo uma

de capacitação laboratorial e a outra de extensão tecnológica, mostradas na Tabela IV no montante de R\$1.336.000,00. Dentro desse programa, a SECIS/MCT apoiou a criação do Centro Científico Tecnológico de Cachoeiro de Itapemirim tendo como foco maior o Setor Mineral, com destaque para rochas ornamentais, máquinas e equipamentos, e o oferecimento de cursos específicos voltado para a área mineral com intuito de formação de pessoal capacitado para exercer com segurança e eficácia as novas oportunidades de trabalho que vem surgindo nos últimos anos.

A criação do Campus Avançado do CETEM, em Cachoeiro de Itapemirim, dentro do Programa de Centro Vocacionais Tecnológicos visando ao desenvolvimento de tecnologia voltada para as rochas ornamentais, desde o conhecimento geológico até a lavra de maciços, melhoria dos processos de beneficiamento, caracterização tecnológica de produtos, avaliação de insumos utilizados na cadeia produtiva e apoio à formação de recursos humanos.

Tabela IV: Ações implementadas de apoio ao setor de Rochas Ornamentais e Revestimentos com recursos de ações do orçamento do MCT (2001 – 2005)

Tipo	Projetos apoiados pelo orçamento do MCT	Instituição	Valor (R\$)
CVTs	Campus Avançado do CETEM, em Cachoeiro de Itapemirim, ES	CETEM-MCT/ CEFET-ES	800.000,00
	Centro Científico e Tecnológico de Cachoeiro de Itapemirim, ES	SMDEC&T e Turismo - Cachoeiro de Itapemirim- ES/ CETEMAG, CEFET-ES	525.000,00
Evento	V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste	FADE-UFPE	11.000,00
Total			1.336.000,00

APOIO DO MCT AOS ARRANJOS PRODUTIVOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

As ações que vêm sendo desenvolvidas pelo MCT de apoio aos APLs de rochas ornamentais e de revestimento já foram esquematicamente descritas nas Tabelas I, II e III. A seguir descreve-se de maneira sucinta, inicialmente, a Política do Governo Federal de apoio aos Arranjos Produtivos Locais (APLs) e como o MCT vem atuando dentro desse Programa do Governo Federal e finalmente a descrição de algumas das ações desenvolvidas pelo MCT de promoção de APLs de rochas ornamentais e de revestimento.

Com o objetivo de viabilizar a política de Governo de promoção e apoio aos APLs, como uma das principais formas de alavancagem do desenvolvimento regional e de fomento e fortalecimento de grupos de micros, pequenas e médias empresas, vários Ministérios têm incluído ações de apoio e incentivos ao Programa 1015 - Arranjos Produtivos Locais do Plano Plurianual (PPA 2004 -2007) e incorporado em suas Políticas Nacionais concernentes às suas áreas de atuação (Mineral, Desenvolvimento Regional, Ciência e Tecnologia, Desenvolvimento da Indústria e do Comércio Exterior) essa visão estratégica dos APLs. O Governo Federal está organizando o tema Arranjos Produtivos Locais (APL) por meio das seguintes medidas: (I) incorporação do tema no âmbito do PPA 2004-2007, por meio do Programa 1015 - Arranjos Produtivos Locais, e (II) instituição do Grupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos Locais (GTP APL) pela Portaria Interministerial nº 331 de 24/10/054, composto por 33 instituições, sendo doze ministérios e suas vinculadas, além de instituições não-governamentais, de abrangência nacional, com a finalidade de aumentar a coordenação e integração das ações desses Ministérios e agências não governamentais envolvidas na promoção de APLs, com o apoio de uma Secretaria Técnica, lotada na estrutura organizacional do MDIC.

O governo federal, numa ação coordenada pelo MDIC, estabeleceu como uma das linhas de ação da PITCE (março 2003) o fortalecimento de grupos de micro, pequena e média empresas via APLs como uma estratégia de fomentar a geração de emprego e renda e promover o desenvolvimento econômico e social. No âmbito do PPA, coexistem ações, constantes da PITCE, envolvendo as áreas de Extensão Industrial Exportadora - PEIEx, de Extensão Industrial Exportadora, Promoção Comercial - Mercado Interno e de Inovação Tecnológica. Para viabilizar a implementação dessa linha de ação da PITCE e a integração das ações governamentais foi instalado o Grupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos Locais - GTP APL, por Portaria Interministerial nº 200, de 03.08.04, retificada pela Portaria Interministerial nº 331, de 24.10.05, com o objetivo de adotar uma metodologia de apoio integrado a arranjos produtivos locais, com base na articulação de ações governamentais. As atividades desse Grupo de Trabalho estão focalizadas em 11 APLs pilotos, distribuídos nas 5 regiões do país, com o propósito de testar a metodologia de ação integrada. A escolha dos APLs-pilotos baseou-se em um Levantamento da Atuação Institucional em APL, que registram as localidades em que 11 instituições, daquelas que participam do Grupo de Trabalho, atuam com a ótica de abordagem de APL. A metodologia do GTP APL tem como principal eixo o reconhecimento e a valorização da iniciativa local, por meio do(a): a) estímulo à construção de Planos de Desenvolvimento participativos, envolvendo necessariamente, mas não exclusivamente, instituições locais e regionais; b) busca de acordo por uma interlocução local comum (articulação com os órgãos do Grupo de Trabalho) e por uma articulação local com capacidade para estimular o processo de construção do Plano de Desenvolvimento (agente animador) (Plano de Desenvolvimento, MDIC, 2004).

Desde de 1999 o MCT vem atuando no apoio aos APLs através de investimento de recursos provenientes do Fundo Setorial Mineral e Fundo Verde Amarelo (Universidade-empresa). A crescente atuação na promoção de APLs do Sistema MCT, formado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e suas Agências, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a necessidade de integrá-la ao conjunto das ações de outros órgãos de governo, originou o Programa de Apoio à Pesquisa e à Inovação em APLs (PPI-APLs). O objetivo central do PPI-APLs é o fortalecimento da competitividade dos APLs, através do apoio à PD&I, visando a promoção de desenvolvimento econômico e social sustentável. Em adição, objetiva-se apoiar e fortalecer os Sistemas Locais e Regionais de Inovação, consolidando-os como fator de suporte à competitividade dinâmica de empresas e economias regionais, através da integração de Universidades e Instituições Científicas e Tecnológicas ao esforço estratégico de PD&I de empresas inseridas em APLs. A forma de atuação prevista adequa-se às orientações resultantes do esforço realizado pelo Grupo de Trabalho Permanente para APLs (GTP APL). A gestão do PPI-APLs, coordenada no MCT pela Secretaria de Ciência para Inclusão Social (SECIS), está sendo executada de forma compartilhada, em termos financeiros e de gestão, com as Secretarias de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do MCT, Estaduais de C&T e a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do MME. O Sistema MCT, através de articulação e negociação, procurará firmar Protocolo de Intenções com os Governos Estaduais, para dar ordenamento e formalização a esta gestão compartilhada. Atualmente, os recursos de financiamentos não reembolsáveis do PPI-APLs são provenientes do Fundo Verde Amarelo, Fundo Setorial Mineral, Fundo Setorial dos Agronegócios, Banco da Amazônia, Banco do Nordeste e convênios com o MCT [PPI-APLs, 2004]. Atualmente, dentre os APLs

apoiados oficialmente pelo GTP APL, encontram-se os seguintes de rochas ornamentais e de revestimento:

- Rochas Ornamentais de Cachoeiro de Itapemirim no Espírito Santo (Piloto),
- Bege Bahia de Jacobina e Ourolândia na Bahia,
- Pedra Cariri de Nova Olinda e Santana do Cariri, no Ceará,
- Quartzito Pirenópolis, Pirenópolis e Corumbá de Goiás, em Goiânia,
- Rochas ornamentais Santo Antônio de Pádua, Santo Antônio de Pádua, no Rio de Janeiro
- Rochas Ornamentais de Ferreira Gomes, em Amapá,
- Rochas Ornamentais de Sobral, no Ceará,
- Ardósia de Papagaios, em Minas Gerais,
- Quartzito de São Tomé das Letras, em Minas Gerais
- Rochas ornamentais de Castelo, no Piauí
- Rochas ornamentais de Parelhas no Rio Grande do Norte
- Rochas ornamentais de Nova Prata, em Rio Grande do Sul

A abrangência dos APLs é revisado periodicamente pelo GTP APL . Os municípios aqui listados foram informados pelos parceiros do GTP APL.

Por demanda do Fundo Setorial Mineral, em 2002, foi realizado o Estudo "Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral no Brasil" pelo Instituto Metas de Crescimento Empresarial Ltda, por meio de encomenda e financiamento do Fundo Setorial Mineral efetivada pelo CNPq. Esse estudo constitui-se na primeira sistematização de identificação de arranjos produtivos de base mineral realizado a nível nacional e tem sido de grande importância para área do MCT que trabalha com recursos minerais e para o Fundo Setorial Mineral, pois possibilitou traçar diretrizes e prioridades de apoio e promoção com relação aos APLs de base Mineral. Nesse estudo identificou-se, em um universo de 222 aglomerados

produtivos de base mineral, 18 relacionados às rochas ornamentais (Tabela II). Desses, oito, junto a mais 21 focados em outros bens, foram melhor classificados quanto aos seus estágios de estruturação e competitividade, e considerados já evoluídos ou em evolução para a condição de APL's. Mello [2005a] através de estudo de comparação entre três

aglomerados paulistas por ele identificados e os oito aglomerados brasileiros mais qualificados sugeriu a introdução de mais dois aglomerados minerais de rochas ornamentais do Estado de São Paulo no levantamento feito pelo Instituto Metas: Marmoraria da Região Metropolitana de São Paulo e Granito da Região de Itu.

Tabela II: Aglomerados produtivos brasileiros de rochas ornamentais.

Região	Estado	Aglomerado Produtivo	Estágio de Estruturação e Competitividade*
Sudeste	Minas Gerais	Ardósias Papaçaió	Mediano Superior
		Quartzitos São Tomé	Mediano
		Granitos Medina	
		Granitos Candeias-Caldas	
		Quartzitos e Pedra Sabão Ouro Preto	
	Espírito Santo	Quartzitos Alpinópolis	
		Mármore e Granitos Cachoeiro de	Avançado
		Granitos Nova Venécia	Mediano Superior
	Rio de Janeiro	Granitos Baixo Guandu	
	São Paulo	Gnaisses Santo Antônio de Pádua	Mediano Inferior
Marmorarias da Região Metropolit. de São			
Granito da Região de Itu			
Nordeste	Bahia	Granitos Braçanca Paulista	
		Travertinos Orolândia	Inicial
	Ceará	Granitos Teixeira de Freitas	
Piauí	Pedra Cariri		
Sul	Rio Grande do Sul	Pedra Morisca	
	Santa Catarina	Basaltos Nova Prata	Inferior
Centro-Oeste	Goiás	Ardósias Trombudo Central	
		Quartzitos Pirenópolis	Inicial

Grupo de 18 aglomerados produtivos baseados na produção de rochas ornamentais, segundo o Instituto Metas/FIEMG, em estudo financiado pelo Fundo Setorial Mineral através do CNPq, em 2002, acrescentados com mais dois aglomerados minerais paulista de rochas ornamentais [Mello, 2005].

Obs.: Em negrito, os principais aglomerados produtivos apoiados em rochas ornamentais. A classificação, vista na coluna da direita, foi feita pelo Instituto Metas, apenas para os aglomerados produtivos brasileiros de base mineral mais estruturados e competitivos, dentre os quais estão os oito destacados. Categorias adotadas naquele estudo: avançado, mediano superior, mediano, mediano inferior, inferior, inicial e potencial.

Rede Brasileira de Informação de APLs de Base Mineral - RedeAPLmineral (MCT/RBT/SGM)

Foi criada através de uma iniciativa da **Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia** e a **Rede Brasil de Tecnologia - RBT**, em parceria com a **Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação**

Mineral do Ministério de Minas e Energia, com objetivo de sistematizar e organizar as interações dos agentes, públicos ou privados, envolvidos com o desenvolvimento de Aglomerações e Arranjos Produtivos locais (APLs) de Base Mineral, em uma rede de informação visando ao intercâmbio e à disseminação de conhecimento tácito e sistêmico, difusão e popularização de boas práticas e gestão tecnológica, de modo a contribuir para o desenvolvimento de

competência nesta área e a promover a sinergia de esforços em solução de problemas comuns aos participantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que o setor de rochas ornamentais se torne mais competitivo, aumente a eficiência da estrutura produtiva, aumente a capacidade de inovação das empresas brasileiras e expanda mais ainda suas exportações, há necessidades de pelo menos ser mais ativo nas duas abordagens seguintes:

1. Equacionar a questão da informalidade do setor através de adoção de melhores práticas tecnológicas e capacitação laboratorial e de recursos humanos para as seguintes aspectos do setor produtivo [IEL-MG e SINDIROCHAS-MG, 2003]:

- Qualificação, diversificação e padronização dos produtos comerciais, bem como, melhoria de sua promoção comercial;
- Prospecção de mercado visando a atender novos mercados e manter e fortalecer os já existentes;
- Aprimoramento tecnológico das atividades de quantificação e qualificação de jazidas, lavra e beneficiamento;
- Melhoria de índice de recuperação e controle ambiental na lavra;
- Aproveitamento e disposição de rejeitos da lavra e do beneficiamento;
- Credenciamento ambiental, mineral, tributário e de segurança ocupacional;
- Fortalecimento de arranjos produtivos.

2. Maior utilização dos mecanismos de fomento e apoio existentes e disponíveis na esfera federal, estadual e municipal, bem como de agentes de apoio ao desenvolvimento local, regional, nacional e internacional. Como exemplo podem ser citados os seguintes programas na esfera nacional que tem sido pouco

utilizado pelo setor de rochas ornamentais e de revestimento:

- **Progex** - Programa de Apoio Tecnológico à Exportação - tem como finalidade prestar assistência tecnológica às micros e pequenas empresas, inicialmente nos Estados do Amazonas, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que queiram se tornar exportadoras ou àquelas que já exportam e desejam melhorar seu desempenho nos mercados externos <http://www.mct.gov.br/prog/empresa/progex.htm> .
- **TIB** - Programa objetiva adequar e expandir a ampla gama de serviços de infra-estrutura nas áreas de Metrologia, Normalização, Regulamentação Técnica e Avaliação da Conformidade, bem como propõe ações de suporte à Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia, para que o esforço de modernização tecnológica e de inovação se traduza no aumento da capacidade competitiva da empresa brasileira (<http://www.mct.gov.br/Temas/Desenv/TIB.pdf>)
- **Programa Juro Zero (FINEP)** - Com empréstimos sem juros e pagamento dividido em 100 (cem) parcelas, o Programa Juro Zero oferece condições únicas para o financiamento de micro e pequenas empresas inovadoras (MPE), com uma redução drástica de burocracia. Dirigido a empresas inovadoras com faturamento anual de até R\$ 10,5 milhões, o Programa Juro Zero oferece financiamentos que variam de R\$ 100 mil a R\$ 900 mil, corrigidos apenas pelo índice da inflação - Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Não há carência, e o empresário começa a pagar no mês seguinte à liberação do empréstimo

http://www.finep.gov.br/programas/juro_zero.asp .

- **PRONINC** - O Programa Nacional de Incubadoras de Cooperativas –tem por objetivo apoiar e desenvolver as experiências de incubadoras tecnológicas de cooperativas populares – ITCP - realizadas por universidades brasileiras. As ITCP’s buscam articular multidisciplinarymente áreas de conhecimento de universidades brasileiras com grupos populares interessados em gerar trabalho e renda, visando a contribuir na formação de cooperativas populares, ou seja, empresas autogestionárias, onde os trabalhadores têm o controle coletivo de todo o processo de produção, desde a atividade fim até a gestão do empreendimento
<http://www.acompanhamentoproninc.org.br/apresentacao.htm> .
- **FUNTEC/BNDES** - O FUNTEC - Fundo Tecnológico destina-se a apoiar financeiramente projetos ou programas de natureza tecnológica, sob as modalidades não reembolsável, reembolsável e participação acionária. As inovações tecnológicas desenvolvidas com recursos do Fundo deverão ser produzidas em território nacional pela empresa envolvida no projeto
<http://www.bndes.gov.br/programas/otros/funtec.asp> .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil, Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Anuário Mineral Brasileiro de 2005, 2005, no prelo.

CIMINELLI, R. R., 2002 (on line). Estudo de mercado dos minerais industriais: relatório final. [Brasília, DF: s.n.], 2002. 16 f. [Acessado em 27.10.2005]. Disponível

em URL: <http://www6.prossiga.br/ctminera/esttec/EstudoMercadoMineraisIndustriais.pdf>.

Decreto da Regulamentação da Lei de Inovação, 2005. Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005 [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2005/Decreto/D5563.htm

DRM-RJ, 2005. Panorama do Setor no Mundo e no Brasil (on line), DRM-RJ, 2005, [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL <http://www.drm.rj.gov.br/panorama.htm>.

DRM-RJ, 2005a, INFORMATIVO DRM-RJ ,Ano IV - Nº 81 - 26/10/2005.

Formulário do Plano de Desenvolvimento do APL (on line), MDIC, 2004 [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquiv/sdp/proAcao/APL/FormPlanoDesenvolvimento.doc>..

Instituto Metas de Crescimento Empresarial Ltda/ Sistema FIEMG, 2002 (on line). Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral no Brasil, CNPq/Fundo Setorial Mineral/MCT, 2002. [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: <http://www.mct.gov.br/Fontes/Fundos/Documents/CTMineral/Base%20Mineral/CNPQ/CD/mapa/cgi/NaoMetalicos.htm>

Lei da Inovação, 2004 (on line). Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2004/Lei/L10.973.htm

Matta, Paulo Magno da, 2005. Rochas ornamentais e de revestimento. Sumário Mineral 2005, DNPM, 2005, pag 104 e 105. (on line) [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL

- [http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento / SumarioMineral2005 / sumariomineral2005.htm](http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2005/sumariomineral2005.htm)
- Mello, Ivan S. C., 2005. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: características, perspectivas e ações para inovação e competitividade, In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari, ES, 2005, CETEM-MCT/CETEMAG, 2005, 8 pag.
- Mello, Ivan S. C., 2005a. Centros produtivos, aglomerados produtivos e arranjos produtivos locais de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo, In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari, ES, 2005, CETEM-MCT/CETEMAG, 2005, 6 pag.
- MCT, 2004. Programa de Apoio à Pesquisa e à Inovação em Arranjos Produtivos Locais (PPI-APLs), MCT, CNPq & FINEP, 2004, 24 pag. [documento não publicado].
- MCT, 2005 (on line), Planejamento Estratégico do MCT, [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL http://www.mct.gov.br/sobre/pdf/plano_estratgico.pdf
- MCT, 2005a. (on line), Plano Plurianual e Planejamento Estratégico do MCT (PLOA 2006), [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL <http://www.mct.gov.br/estat/ascavpp/ploa2006/abertura.htm>
- MCT, 2005b.(on line) Diretrizes para o Fundo Setorial Mineral (CT-MINERAL), Gerência do Fundo Setorial Mineral, Brasília, Maio de 2001, [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL <http://www.mct.gov.br/Fontes/Fundos/Documentos/CTMineral/CTMINERAL.PDF>.
- Política Industrial, Tecnológica e do Comércio Exterior (PITCE) (on line), MDIC, 2004 [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/imprensa/20040331PlanoPoliticaIndustrial.pdf> .
- Política Nacional de Desenvolvimento Regional (on line), MI, 2004 [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: http://www.integracao.gov.br/download/download.asp?endereco=/pdf/desenvolvimentoregional/pndr.pdf&nome_arquivo=pndr.pdf
- APL de Cachoeira de Itapemirim, Identificação de Gargalos Consolidado <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sdp/proAcao/APL/IdenGargConsolidada.pdf>.
- Fundo Setoriais (on line), MCT, 2001 [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: <http://www.mct.gov.br/Fontes/Fundos>
- Portaria Interministerial (MDIC, MPOG, MCT e MI) n° 200, de 02.08.2004 (on line), [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sdp/proAcao/arrProLocais/arrProLocais.php>.
- Portaria Interministerial (MDIC, MPOG, MCT e MI) no 331, de 24 de outubro de 2005 (on line), [acessado em 27.01.2005]. <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sdp/proAcao/APL/Portaria200.pdf>
- Rede Brasileira de Informação de Apls de Base Mineral – Redeaplmineral, MCT/RBT, 2004 [Acessado em 17.01.2005]. Disponível em URL: <http://www.redebrasil.gov.br/redeaplmineral> .
- RBT/MCT, 2005 (on line). Rede Brasil de Tecnologia, 2005. [Acessado em 27.10.2005]. Disponível em URL: <http://www.redebrasil.gov.br> .
- SECIS/MCT, 2005 (on line). Secretaria de Ciência e Tecnologia par Inclusão Social (SECIS) do MCT, 2005. [Acessado em

27.10.2005]. Disponível em URL:
Departamento de Popularização e
Difusão da Ciência e Tecnologia

Reis, E. 2001 (on line). Levantamento da situação e das carências tecnológicas dos minerais industriais brasileiros com enfoque na mineração de: argila para cerâmica, barita, bentonita, caulim para carga, talco/agalmatolito e vermiculita. PNUD/CT-Mineral/MCT, 2001. 56 f. Com contribuições de Salomão Badi, Marcos Maia, Pedro Pino Veliz e Eduardo Melo. [Acessado em 12.10.2005]. Disponível em URL
http://www.mct.gov.br/Fontes/Fundos/Documentos/CTMineral/ctmineral_estudo001_02.pdf.

O aproveitamento dos rejeitos (desperdícios e subprodutos) das rochas ornamentais de Portugal

Paulo Barral

Arquiteto

Coordenador da Acção Integrada Zona Mármore (acção financiada pela União Europeia)
ASSESSOR PRINCIPAL da CCDRALentejo / Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional - PORTUGAL

OS PRINCÍPIOS QUE REGEM A GESTÃO DOS REJEITOS

A gestão dos resíduos industriais é uma preocupação recente na legislação portuguesa.

Só em 1997 no Decreto-lei 239 se estabelece que “ **a gestão dos resíduos industriais visa, preferencialmente, a prevenção ou redução da produção ou nocividade dos resíduos, nomeadamente através da reutilização e da alteração dos processos produtivos por via da adopção de tecnologias mais limpas, bem como da sensibilização dos agentes económicos e dos consumidores** ”.

Posteriormente, em Novembro de 2001, o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI) constata que: “ **a introdução do conceito “Prevenção da Poluição” na estratégia de gestão dos resíduos industriais, se encontra, em termos práticos, num nível primário e ainda incipiente** ”.

A maioria das empresas portuguesas e incluindo a maioria das empresas estrangeiras que laboram em Portugal, quando se preocupam com o ambiente (as que se preocupam) procuram controlar a produção de poluição e/ou de resíduos (incluindo os rejeitos resultantes da extracção e transformação da pedra natural), apenas com tratamentos de fim de linha, mesmo assim considerando que é um custo acrescentado no contexto dos factores de produção. Raras são as empresas em Portugal que assumem o interesse de aproveitarem os rejeitos e enquadrá-los como

benefícios importantes para a sua eficiência comercial.

As estratégias de aproveitamento dos subprodutos estão agora em maior progresso face às medidas penalizadoras que os actuais regimes licenciadores e regulamentadores da actividade industrial, estão a exigir nos procedimentos de controlo prévio, quando se trata de licenciar novas empresas, e a impor às que estão em actividade.

Em Portugal o licenciamento da actividade industrial é competência exclusiva ou partilhada da Administração central através das direcções regionais (DRE's) do ministério da Economia, das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR's) do ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional (autoridade administrativa ambiental) e da Administração local (municipal).

O *upgrade* destas políticas sectoriais é imposto pelas Directivas da União Europeia (UE) e é determinado pelo cada vez mais presente conceito de “Estado Jurídico do Ambiente” que o Tratado de Maastrich plasmou, sob pena de não serem concedidas as ajudas financeiras.

Em Portugal a partir da Lei de revisão constitucional de 1997, foi valorado e ampliado o princípio que foi inicialmente consagrado na Constituição Democrática de 1976 e que determina : “**Todos têm direito a um ambiente de vida humana, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender** ”.

É também no respeito por este direito fundamental que cada vez mais se impõe exigir que qualquer actividade da sociedade, *maxime* a industrial, se tem de pautar pelo **respeito e salvaguarda dos patrimónios, pela protecção dos recursos naturais e pelo combate às diversas formas de poluição.**

A utilização parcimoniosa dos recursos pétreos, com a minimização dos rejeitos – que devem ser classificados como matérias primas desperdiçadas - é o princípio inicial da adequada solução para a garantia da eficiência empresarial. O mesmo princípio está em grande valoração para o **adequado uso da energia e da água.**

O Sistema de Gestão de Resíduos Industriais, por seu lado, ao dar prioridade **ao princípio da Prevenção**, obriga a que os circuitos da reutilização, do aproveitamento e da valorização dos resíduos, seja não só considerado um fim genérico global, mas igualmente um conjunto de fins que se decompõem em cada vez mais diversificados objectivos específicos, complementares e não concorrenciais.

É por isso que quando abordamos os rejeitos gerados nos sub-sectoros das rochas ornamentais e industriais, os objectivos da eliminação e da deposição sendo as práticas mais comuns, não são já as mais eficientes nem as mais autorizadas.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável, disposto no Relatório Bruntland – **satisfazer as necessidades actuais sem por em causa as necessidades das gerações futuras** – impõe, numa perspectiva mais aprofundada, a obrigação de encontrar para os rejeitos boas soluções a partir de boas práticas.

No respeito pelas boas práticas surge o princípio da **Produção Mais Limpa (PML)**. A PML resulta sempre da aplicação contínua da estratégia integrada preventiva aos processos e aos produtos, para que os riscos sejam reduzidos e é determinante para também para a autorização e licenciamento da actividade industrial.

A relevância que o Ambiente toma no contexto da “nova cidadania”, impôs também que as políticas públicas do Ordenamento do Território se adequem de forma sistémica. Assim, os planos Sectoriais que expressam as metas e objectivos programáticos das políticas sectoriais, estão obrigados ao enquadramento nos instrumentos de gestão territorial, quer nos instrumentos de desenvolvimento (PROT’s – Planos Regionais de OT, PIMOT’s – Planos Intermunicipais de OT) quer nos instrumentos de planeamento (PMOT’s – Planos Municipais de OT), quer ainda nos instrumentos especiais (PEOT’s – Planos Especiais de OT), sendo este últimos vinculativos para os particulares (PMOT’s e PEOT’s).

Esta, em síntese, a actual arquitectura do sistema português em que a actividade industrial se estabelece e que tem na letra e no papel um excelente e avançado desenho mas que, na prática, está ainda longe de cumprir os ideais.

No seio da União Europeia, Portugal apresenta um excelente nível de transposição das Directivas mais exigentes. Falta-nos porém a base económica (e a base cultural/comportamental) para aumentarmos a eficiente introdução em linha de todo este novo quadro regulamentador.

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS E SUB-PRODUTOS (REJEITOS) DA INDÚSTRIA DOS MÁRMORES

Na Zona dos Mármore, o impacto que a actividade extractiva tem gerado e gera no território dos municípios de Estremoz, de Borba e de Vila Viçosa é muito intenso e, para além de danificar sem remédio a estrutura da paisagem, ocasiona também fortes danos ambientais no que respeita à estrutura hidrogeológica, numa região em que o abastecimento público de água é feito através dos mananciais subterrâneos.

Desde 2002 que está plenamente eficaz e em aplicação o Plano Regional de Ordenamento da Zona dos Mármore (PROZOM). Este instrumento de desenvolvimento relativamente ao Uso, Ocupação e Transformação do solo,

determina muito sólidas regras e directivas que obrigam à realização de estudos que particularizam e pormenorizam o planeamento regulamentar de que as autoridades locais se terão obrigatoriamente de servir para gerir o território.

O PROZOM delimita cinco zonas chamadas de Unidades de Ordenamento (**UNOR's**), para as quais é obrigatório serem elaborados planos de pormenor que definem gráfica e regulamentarmente os usos, as formas de ocupação e de transformação, implicando as Áreas de Exploração (**AE's**) e as Áreas de Deposição Comum (**ADC's**).

A cada Área de Extracção corresponde uma UNOR e a deposição, realizada pelas empresas ou por um estrutura empresarial especialmente criada para esse fim, será levada a essas plataformas, que serão logísticas, mas que evoluirão (algumas) para estruturas também industriais de processamento.

À actual deposição anárquica dos restos de rocha sem valor comercial imediato, em escombrelas individuais, sucederá um armazenamento selectivo em terrenos devidamente preparados para receber essas massas. As áreas de corta que hoje estão ocupadas pelos escombros são deste modo libertadas e as áreas das explorações poderão ser alargadas e permitir melhores praticas extractivas e permitindo a reposição da estrutura ambiental. Os solos indicados para localização das ADC's localizam-se fora do polígono da Zona Cativa delimitada.

Na sua função de inventariação da realidade os estudos do PROZOM identificaram os aspectos de carácter ambiental e de desenvolvimento económico a que urge dar a devida atenção e solução.

1. **A acumulação e a volumetria crescente das escombrelas e de lamas resultantes** (materiais residuais e não em estrito senso, resíduos, provenientes da indústria de exploração e transformação dos mármore) é não só uma problemática de carácter ambiental, é igualmente já uma **problemática económica que está a bloquear o sector.**

2. A redução dos enormes volumes de resíduos **não pode ser feita à custa apenas de operações de britagem e transferência para mercados eventuais.** Só com a valorização dessas largas toneladas de material residual, implicando a adopção de novas técnicas de gestão e novas linhas de produção, poderá permitir efectivamente essa redução e com ela a criação da contrapartida da mais-valia que permite custear os inerentes investimentos que se lhe associam.
3. Não só as **novas e exigentes regras de extracção** acompanhadas pela monitorização ambiental terão de ser postas em prática. Também é absolutamente necessário que o armazenamento dos materiais excrescentes seja gerido em **plataformas logísticas (Áreas de Deposição Comum – ADC's)** adequadamente localizadas e progressivamente equipadas com a instrumentação necessária para o desenvolvimento de **novas linhas de produção de materiais** que hoje, como se poderá verificar, estão já a ser preferidos na construção civil e nas obras públicas.
4. É absolutamente necessário que a extracção das rochas ornamentais, especialmente para o caso a extracção dos mármore, seja complementada com a constituição de ADC's, para onde o armazenamento deve ser conduzido, corrigindo e **neutralizando os impactes negativos** que a actual deposição feita sem qualquer preocupação de salvaguarda ambiental determina.
5. Na Zona dos Mármore do Alentejo (**Mármore Estremoz e Rosa Portugal**), essa deposição controlada em ADC é premente e urgente mas, para o efeito, é necessário ser estabelecida também uma **estrutura empresarial para transporte** dos escombros ou moledos em toda a Zona Cativa e é necessário, concomitantemente, concretizar as estruturas específicas de **acessibilidade**, ou seja, os **estrados** especialmente abertos para este trânsito de viaturas pesadas (dumper's ou banheiras).

- território e são complementares do ponto de vista económico.
6. O projecto **EDCMármore**s, uma empresa de capitais maioritariamente públicos que foi especialmente constituída para a gestão dos resíduos, iniciando a sua acção na deposição controlada, tem por base uma correcta gestão ambiental e reduzirá o impacte, quer da extracção quer da transformação, sobre o ambiente e encoraja, como decorre da operação de “transfere” feita com controle, uma boa prática ambiental. Esta Empresa é beneficiária a **70% a fundo perdido**, das ajudas de co-financiamento europeu, destinado à implementação das plataformas logísticas de deposição e de processamento, com prioridade para a sustentabilidade do próprio *cluster*.
 7. Mas só o **aumento da sensibilização e compreensão** das questões ambientais por parte dos trabalhadores e das comunidades, fomentará um comportamento ambiental adequado e promoverá o ambiente sustentável (*in Environmental Resources Management*). É por isso que a **AIZM (Acção Integrada da Zona dos Mármore)** concede apoios financeiros que incluem também o **FSE** (Fundo Social Europeu) apoiando a Qualificação dos Recursos Humanos, nas áreas da Formação, Valorização e Qualificação, com **6 milhões de Euros**, e que acrescem aos **25 milhões de Euros** do **FEDER** (Fundo Europeu do Desenvolvimento Regional). Os sindicatos de trabalhadores e de quadros, bem como as associações patronais, neste caso a **ASSIMAGRA** – (Associação das Indústrias de Mármore, Granitos e Ramos Afins), estão a aproveitar estes fundos e a candidatar projectos visando a qualificação da mão de obra, a formação de empresários, a aplicação da informática e das novas tecnologias, a gestão e administração de empresas, a formação em métodos de prospecção/exploração do mármore, a formação no domínio das artes e ofícios das rochas ornamentais e no domínio das artes e ofícios tradicionais, no domínio do marketing e promoção de produtos, no domínio ambiental, no sector do turismo, comércio e serviços que interagem no
 8. A **utilização de boas práticas** é também essencial **na conservação da energia**. A incorporação de medidas tendentes a minimizar, atenuar ou compensar o aumento do consumo de energia constitui uma componente relevante das chamadas boas práticas.
 9. A **superfície de terrenos e solos contaminados e abandonados deverá diminuir drasticamente em resultado do armazenamento controlado em ADC**. A eliminação de resíduos terá de ser acompanhada de acções de descontaminação e de recuperação paisagística.
 10. Portugal ainda é o 6º maior produtor mundial de rochas ornamentais, (cerca de 4,6%, segundo o INETI), tendo o sector extractor dos calcários cristalinos (mármore) uma cota de 70%, com a maior concentração de pedreiras no **Anticlinal de Estremoz -Borba - Vila Viçosa**.
 11. O PROZOM determina que as zonas intensivas de exploração sejam alvo de regulamentação que abarque **toda a zona ou núcleo** e não casuisticamente, como até aqui se tem feito. Os **estudos geológicos feitos em profundidade** indicam a existência de mármore de excelente qualidade a profundidades medidas entre 350 metros e 400 metros. Atente-se no que seria a continuação da deposição em escombreliras localizadas aleatoriamente, como continua a suceder. Actualmente a máxima profundidade de extracção atinge já, mais de 120 metros – Pedreira da Fonte da Moura - **Núcleo de Pardais** / município de Vila Viçosa.
 12. O aprofundamento das pedreiras origina a descida dos níveis freáticos e determina em muitas situações a **secagem de captações em áreas não extractivas** onde ainda se pratica a agricultura em pequena e média exploração.

13. **A água tem igualmente de ser considerada como sub-produto** porquanto o seu armazenamento em algumas pedreiras, devido á actividade extractiva, obriga à sua drenagem e escoamento para a superfície e é fundamental que essas águas não sejam desperdiçadas e sejam tratadas e remetidas ao regime hidrológico natural. São águas com elevadas concentrações de partículas sólidas cuja origem está no corte das bancadas com fio diamantado o que determina o seu tratamento por se tornarem totalmente impróprias para a fauna e flora e obviamente para o consumo humano. Estas águas são turvas face à insuficiente decantação e não devem ser reconduzidas à rede natural nestas condições de poluição. A Autoridade Ambiental terá também aqui de fazer um grande esforço de sensibilização.

14. **Os Planos Ambientais e de Recuperação Paisagística das Pedreiras (PARP's)** que o actual regime de licenciamento impõe, podem ter igualmente um papel fundamental no propósito de fazer diminuir os impactes negativos sobre os outros recursos naturais em presença.

15. O DL 270/2001, de 6 de Outubro, ao estabelecer a necessidade da elaboração destes "PARP's" convoca para o sistema de licenciamento um leque de orientações técnicas que permitem integrar o plano de lavra com o plano de aterro e de desactivação. **A concepção dos planos de lavra**, são desde logo condicionados pela definição concreta dos impactes ambientais significativos e podem evitar as consequentes contaminações e abandonos das explorações, questão que constitui hoje um gravíssimo problema que tem de ser resolvido com urgência.

16. Na Zona dos Mármoreos a utilização dos subprodutos provenientes da extracção e da transformação dos mármoreos **pode favorecer a introdução de tecnologias limpas e a melhoria dos processos de redução da utilização de outras matérias-primas**, ser exemplo de eficácia energética e de reciclagem de águas.

Determinam a recolha, o tratamento, a reutilização e a optimização dos resíduos requalificando-os como subprodutos.

17. Esta nova linha de produção **incentiva a introdução da gestão ambiental oferecendo às empresas orientações tendo em vista a melhoria do seu desempenho ambiental.**

18. Por último, **a formação profissional é fundamental para a utilização de técnicas e melhores práticas ambientais.** O alvo prioritário da formação terá de se colocar nas acções da operação e manutenção. A formação terá de enfatizar as abordagens de prevenção, de organização de parcerias e criação de redes de estruturas empresariais vocacionadas para o ambiente. É um campo vasto de aplicação que não pode ficar no papel e que tem de ser rentabilizado.

A ACTUAL LEI DAS PEDREIRAS E O APROVEITAMENTO DOS REJEITOS

O Decreto-Lei 270/2001, a actual Lei das Pedreiras, obriga a indústria extractiva a um **melhor desempenho ambiental**, através da **apresentação de planos de lavra, estudo de impacto ambiental, planos de requalificação paisagística com pagamento de caução e nomeação de um director técnico para cada exploração.**

- *O prazo para a adaptação à Lei de Pedreiras – Decreto Lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro, foi prorrogado uma 1.ª vez pelo Decreto Lei n.º 112/2003, de 4 de Junho e a 2.ª vez pelo Decreto Lei n.º 317/2003, de 20 de Dezembro tendo esse prazo terminado no dia 11 de Abril de 2003. A lei está em vigor desde essa data e o seu cumprimento está a ser fiscalizado pela IGAE - Inspecção Geral das Actividades Económicas.*

1 - O explorador **não pode conduzir e realizar as operações de exploração, fecho e recuperação sem plano de pedreira aprovado**, o qual constitui condição a que está sujeita a respectiva licença, define os objectivos, processos, medidas e as acções de monitorização durante e após aquelas operações, e a que as mesmas devem obedecer.

2 - O **plano de pedreira** compreende o **plano de lavra** e o **PARP**, os quais **devem estar devidamente articulados entre si**, incluir os documentos técnicos constantes do anexo VI e a calendarização dos trabalhos que demonstre a compatibilidade temporal das fases previstas em cada uma das peças técnicas, sendo que as entidades competentes para aprovação do plano de pedreira podem, em função das características da exploração, dispensar a apresentação de elementos constantes do anexo VI.

3 - A DRE (Direcção Regional de Economia) aprova o plano de lavra e o aterro de resíduos regulado pela legislação sobre resíduos resultantes da exploração de massas minerais e incluído naquele. A CCDR ou o ICN aprovam o PARP e o **aterro de resíduos** integrado neste.

4 - O plano de pedreira deve ter sempre subjacente a **minimização do impacte ambiental na envolvente, o aproveitamento sustentável** da massa mineral e, tendo em conta a situação económica do agente, o **princípio das melhores tecnologias disponíveis (MTD)**.

5 - O **explorador deve promover a revisão do plano de pedreira** e sua prévia aprovação pelas entidades competentes, **sempre que pretenda proceder a alterações deste**, mesmo que não enquadráveis na alteração do regime de licenciamento regulado no artigo 34.º

Esta lei veio impor uma forte disciplina à actividade industrial nas pedreiras, e conforme se pode verificar pelo diagrama do processo para as rochas ornamentais, permitir o aproveitamento dos principais

rejeitos consequentes das **operações de extracção** :

- **perfuração** (água com natas e desperdício de rocha)
- **corte** (água com natas , terras e estéril de pedreira)
- **desmonte** (água com natas e desperdício de rocha)
- **remoção** (blocos e fragmentos) → britagem e grivagem
- **acabamento** (água com natas e desperdício de rocha)

No **circuito da transformação**, a **serragem**, o **polimento**, o **corte**, a **selecção** são ainda acompanhados da produção de rejeitos em que abundam os desperdícios de rocha. Finaliza o **embalamento**, produtor ainda de resíduos da própria embalagem – papeis, cartão, plástico e metais (agrafes).

O documento orientador basilar é o Guia Técnico do Sector da Pedra Natural (2001) integrado no **PNAPRI** (Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais), da responsabilidade do Ministério do Ambiente e insere-se na linha mestra – Gestão Sustentável do **PESGRI** (Plano Estratégico de Resíduos Industriais) da responsabilidade conjunta dos Ministérios da Economia e do Ambiente.

Este Guia Técnico não tem por objectivo, como no seu texto introdutório se informa, a redução dos resíduos a qualquer custo , mas sim contribuir para que as empresas se equipem e restructurem para cumprirem as especificação ambientais , actuais e futuras, que serão cada vez mais exigentes e que constituirão paradigmas fundamentais e de referência para a competitividade nos mercados internacionais.

A Europa que internaliza os custos sociais do trabalho e ambientais nas actividades industriais, não pode doravante aceitar a competição de países emergentes como é por exemplo a China e a Índia, em que essa internalização não tem sequer uma mínima expressão. Porém está demonstrado que é a internalização desses factores que determina a inovação tecnológica e permite às sociedades e aos seus mercados maior justiça no desenvolvimento económico e ambiental.

Diagrama do processo do subsector das rochas ornamentais

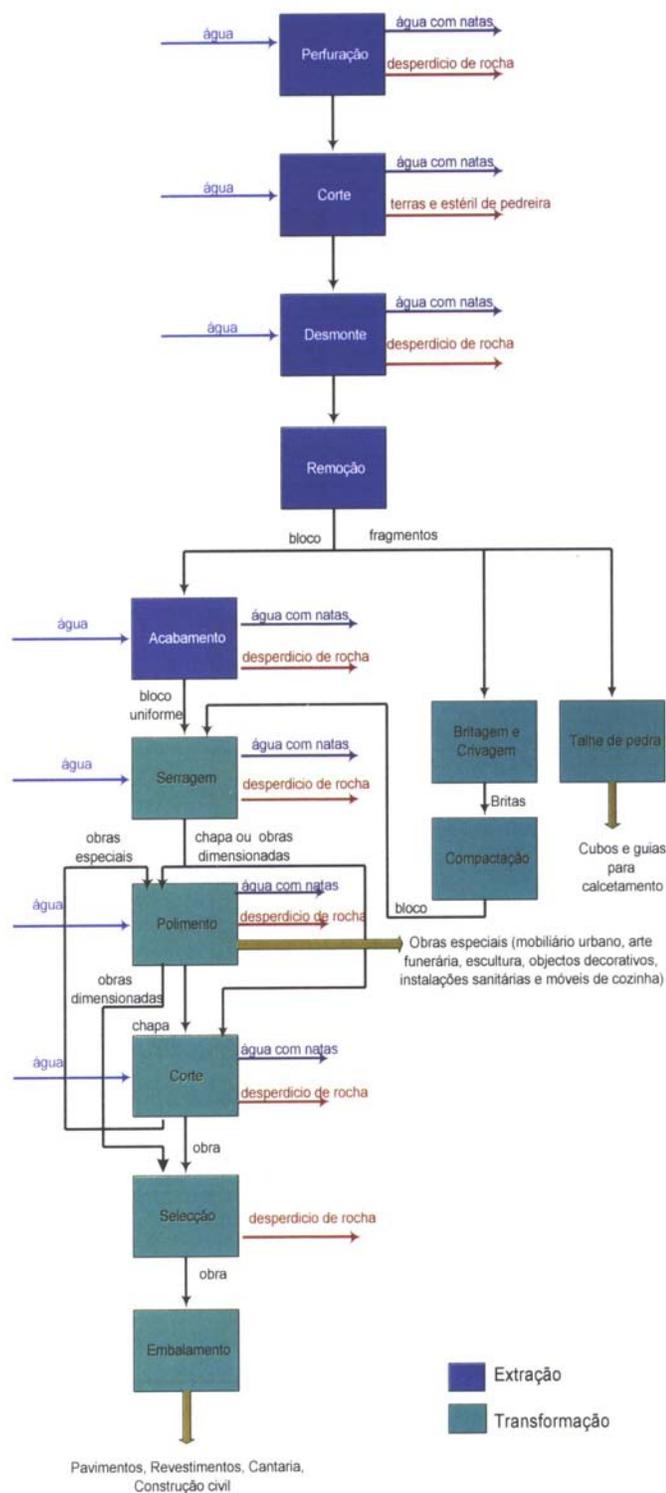


Diagrama do processo do subsector das rochas industriais

