



**III CONGRESSO
BRASILEIRO
DE ROCHAS
ORNAMENTAIS
ANAIS
VI SIMPÓSIO
DE ROCHAS
ORNAMENTAIS
DO NORDESTE**

**15 A 18 DE NOVEMBRO DE 2007
NATAL - RIO GRANDE DO NORTE - BRASIL**

CETEM

**ORGANIZAÇÃO:
FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
NURIA FERNÁNDEZ CASTRO**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA
PRESIDENTE

JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA
VICE-PRESIDENTE

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SÉRGIO MACHADO REZENDE
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LUIZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS
SECRETÁRIO EXECUTIVO

LUIZ FERNANDO SCHETTINO
SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

ADÃO BENVINDO DA LUZ
DIRETOR DO CETEM

JOÃO ALVES SAMPAIO
Coordenador de Processos Minerais

RONALDO LUIZ CORREA DOS SANTOS
Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS
Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

ARNALDO ALCOVER NETO
Coordenador de Análises Minerais

ZULEICA CARMEM CASTILHOS
Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

JOSÉ DA SILVA PESSANHA
Coordenador de Administração

ANAIS DO III CONGRESSO BRASILEIRO DE
ROCHAS ORNAMENTAIS E VI SIMPÓSIO DE
ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

Natal - Rio Grande do Norte – Brasil
15 a 18 de Novembro de 2007

Organizadores:

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Nuria Fernández Castro

**ANAIS DO III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS
E VI SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**

ORGANIZADORES

Francisco Wilson Hollanda Vidal
Nuria Fernandez Castro

CAPA

Vera Lúcia Espírito Santo

COMISSÃO TÉCNICA

Adriano Caranassios (CACI-ES/CETEM/MCT)
Francisco Wilson Hollanda Vidal (CATE/CETEM/MCT)
José Araújo de Nogueira Neto (DEGEO/UFC)
José Lins Rolim Filho (DEMNAS/UFPE)
José Maria do Rego (SEDEC/RN)
Júlio César de Souza (DEMINAS/UFPE)
Lourival Cruz Diniz Filho (DNPM/RN)
Maria Angélica Batista Lima (CODECIR/PE)
Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá (DIGEO/IPT)
Nuria Fernández Castro (CATE/CETEM/MCT)
Risale de Almeida Neves (DAU/UFPE)
Vanildo Mendes (CPRM/PE)

**O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade
exclusiva do(s) autor(es).**

Material da Capa: Mármore Mont Charmont (Calcário do APODI - IMARF)

Centro de Tecnologia Mineral

Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais (3.:2007: Natal)
Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais/Núria
Fernandez Castro (Org.), Francisco Wilson Hollanda Vidal (Org. – Rio de
Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

380 p.: il.

1.Rochas Ornamentais. 2. Rochas e minerais industriais. 3. Centro de
Tecnologia Mineral. II. Castro, Nuria Fernandez (Org.). III. Vidal,
Francisco Wilson Hollanda (Org.)

ISBN 978-85-61121-41-9

CDD 553

APRESENTAÇÃO

A realização do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais – III CBRO e do VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – VI SRONE, no período de 15 a 18 de novembro de 2007, na cidade de Natal-RN, completou um ciclo de quase 10 anos de SRONE que já é considerado um evento técnico-científico consagrado no nosso campo de trabalho em PD&I nas áreas correlatas ao segmento de mármore, granitos e rochas afins. É com grande satisfação que apresentamos os anais nesta 6ª edição no momento em que o setor de rochas ornamentais brasileiro atravessa um de seus melhores períodos na história do país, superando muitas expectativas.

O presente volume registra as contribuições técnicas apresentadas no III CBRO e VI SRONE, distribuídas em sessões técnicas (palestras e posters), conferências e Workshops para arquitetos e profissionais especificadores de materiais construtivos e decorativos. A nossa expectativa de participação foi amplamente ultrapassada considerando que recebemos cerca de 80 resumos para apresentação, dos quais foram selecionados para publicação – artigos técnicos que compõem os Anais.

Novamente podemos observar uma evolução quantitativa e qualitativa dos trabalhos técnico-científicos que têm sido apresentados nos últimos eventos, desde a organização do I SRONE, em 1998. Isto demonstra, não só um crescimento, mas também o amadurecimento e consolidação definitiva nas áreas de C&T relacionadas ao setor de rochas ornamentais. Serviram de exemplos: a formação da Rede de Pesquisa RETEQ-ROCHAS, em 1999, com a realização de diversos estudos e publicações científicos no decorrer destes 8 anos de existência.

Os temas de interesse vêm gradativamente se ampliando e se modificando ao longo dos anos, o que pode ser comprovado, através dos congressos internacionais (CIRO de Guarapari e CIRO de Carrara) e das feiras internacionais do setor, em todos os segmentos da atividade de mineração envolvendo a pesquisa mineral, a lavra e o beneficiamento, além dos segmentos da arquitetura e da construção civil.

Gostaríamos de registrar nossos agradecimentos ao governo do Estado do Rio Grande do Norte, à SBG e ao CETEM, pela realização do evento e às demais empresas e órgãos do governo que nos apoiaram para a viabilização do mesmo.

Rio de Janeiro, junho de 2008

Francisco Wilson Hollanda Vidal
Coordenador Nacional do III CBRO e VI SRONE

SUMÁRIO

1	OS MINERAIS DAS ROCHAS E O ARQUITETO NA CADEIA PRODUTIVA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS Risale Neves Almeida e Lucila Ester Prado Borges. _____	9
2	SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS BRASILEIRAS NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO Cid Chiodi Filho _____	16
3	APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO PROCESSO INDUSTRIAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA ARQUITETURA Renato Paldés _____	41
4	AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO NORDESTE E SUDESTE ATRAVÉS DAS SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS Francisco Wilson Hollanda Vidal, Regina Coeli Casseres Carrisso e Tácito Walber G. Fernandes _____	53
5	ROCHAS SEDIMENTARES COM FINS ORNAMENTAIS: OS EXEMPLOS DOS CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO LA TAMPA (COLÔMBIA) E DO ARENITO “PIETRA SERENA” DA FORMAÇÃO MARNOSO-ARENÁCEA (ITÁLIA) Javier Becerra Becerra, Antônio Gilberto Costa e Roberto Bruno _____	63
6	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ALTERABILIDADE DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Julio César Guedes Correia, Adriano Caranassios e Juliana Maceira Moraes _____	77
7	ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS Júlio César Souza, José Lins Rolim Filho, Márcio Luiz Siqueira Campos Barros, Belarmino B. Lira, Suely A. Silva e Fernando Edgar Rieck _____	88
8	AVALIAÇÃO DA PERDA DE BRILHO EM PLACAS PÉTREAS DA REGIÃO LITORÂNEA DO RECIFE BAIRRO BOA VIAGEM Suely A. Silva, F. M. C. Oliveira e Júlio César Souza _____	97
9	CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO E PATOLOGIAS DOS BENS PÉTREOS DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DA ZONA DA MATA PERNAMBUCANA Fernando Edgar Rieck e Júlio César Souza _____	108
10	PATOLOGIAS EM PLACAS PÉTREAS DE REVESTIMENTOS EXTERNOS NA REGIÃO LITORÂNEA DO RECIFE Suely A. Silva, F. M. C. Oliveira e Júlio César Souza _____	119
11	ESTUDO DE ALTERABILIDADE DE UM LIMESTONE DE NOME COMERCIAL MONDORÈ Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Julio César Guedes Correia e Adriano Caranassios _____	131
12	ROCHAS ORNAMENTAIS; TECNOLOGIA E CRITÉRIOS DE PROSPEÇÃO Jorge Carvalho _____	145

13	NOVA SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE JAZIDAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS Vanildo Almeida Mendes, Júlio César Souza e Oberdam J. Santana _____	162
14	TENSÕES NATURAIS E INDUZIDAS EM PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS GRANÍTICAS Aarão de Andrade Lima, Robson R. Lima e João Bosco Burgos Costa _____	170
15	ANÁLISE ECONÔMICA DO GRANITO ORNAMENTAL "GOLDEN PEACH" (CURRAIS NOVOS-RN) Robson Ribeiro Lima, Aarão de Andrade Lima, Júlio César Souza e Márcio Luiz Siqueira Campos Barros _____	182
16	CARACTERÍSTICAS DAS FRATURAS DO GRANITO ORNAMENTAL PRETO SÃO MARCOS (CASSERENGUE-PB) E SEU IMPACTO NA VIABILIDADE DE EXPLOTAÇÃO DA JAZIDA Robson Ribeiro Lima, V. N. Agrawal, Aarão de Andrade Lima e J. L. R. Neto. _____	192
17	CONTROLE DO PROCESSO DE DESDOBRAMENTO DE DIVERSAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, EM FUNÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E TECNOLÓGICAS Antonio Augusto Pereira de Sousa, D. F. Oliveira e R. Rodrigues _____	199
18	CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ARGAMASSAS EXPANSIVAS COMERCIAIS IMPORTADAS PELO BRASIL Antonio Augusto Pereira de Sousa, H. L. Lira, G. A. Neves, R. A.V. Silva e W. A. Nascimento _____	206
19	ESTUDO DA ADERÊNCIA DE ALGUNS "GRANITOS" COM ARGAMASSA COLANTE Lizandra Nogami, Antenor Braga Paraguassú e Rogério Pinto Ribeiro _____	217
20	DIAGNÓSTICO DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO Valdemir Cavalcanti Souza, Júlio César Souza e José Lins Rolim Filho _____	226
21	GESTÃO AMBIENTAL NAS INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DA PARAÍBA- Antonio Augusto Pereira de Sousa, D. F. Oliveira, J. M. S. Araújo, S. A.B. Almeida e S. M. A. Vighini _____	236
22	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DOS CALCÁRIOS DO CARIRI CEARENSE Francisco Wilson Hollanda Vidal, Maria Angélica B. Lima, Nuria Fernández Castro e Tácito W. G. Fernandes _____	242
23	APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCÁRIO DO CARIRI CEARENSE NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA Achiles Dias Alves da Silva, José Lins Rolim Filho, Márcio Luiz Siqueira Campos Barros e Belarmino B. Lira _____	255
24	APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE GERADOS NO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Julio César Guedes Correia e Peter Rudolf Seidl _____	260
25	UTILIZAÇÃO DE TRAMAS PARA O PROJETO DE PAINÉIS, PISOS E FACHADAS COM SOBRAS DE MÁRMORES E GRANITOS Oberdan J. Santan e Júlio César Souza _____	269

26	RESULTADOS DO PROJETO DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE GRANITOS DA SERRA DA MERUOCA – CE Irani Clezar Mattos, Ricardo Emílio F. Q. Nogueira, Raquel Argonz e José de Araújo Nogueira Neto	276
27	MÁRMORE BEGE BAHIA: DOS TEMPOS PRETÉRITOS AO PANORAMA ATUAL Ana Cristina Franco Magalhães	287
28	PROCESSO DE REGULARIZAÇÃO DOS CALCÁRIOS DO CARIRI PELO PROJETO APL Manoel William Montenegro Padilha, Francisco Wilson Hollanda Vidal e Tácito Walber G. Fernandes	293
29	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A VALORIZAÇÃO DA PEDRA CARIRI – CE Francisco Wilson Hollanda Vidal, Tácito Walber G. Fernandes e D. A. Pequeno	298
30	EXPLOTANDO CALCÁRIO E SALVANDO FÓSSEIS NA CHAPADA DO ARARIPE Francisco Wilson Hollanda Vidal e Diógenes de Almeida Campos	306
31	PEDREIRA ESCOLA: UMA EXPERIÊNCIA INOVADORA Hélio Carvalho A. Azevedo e Francisco Wilson Hollanda Vidal	317
32	A INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NA COMPETITIVIDADE E TECNOLOGIA PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS Ludson Zampirolli	325
33	MOSAICO COM RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO POSSIBILIDADE DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL Ludson Zampirolli	340
34	CUBA PARA BANHEIROS COM O USO DE CHAPAS FINAS DE GRANITO – UMA ALTERNATIVA ÀS CUBAS CERÂMICAS Ludson Zampirolli	353
35	MINERAL PRODUCTION CLUSTERS EVALUATION THROUGH THE SUSTAINABILITY MATRIX Carlos Cesar Peiter e Roberto Cerrini Villas-Bôas.	365

CAPÍTULO 1

OS MINERAIS DAS ROCHAS E O ARQUITETO NA CADEIA PRODUTIVA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Risale Neves Almeida¹ & Lucila Ester Prado Borges

RESUMO

O projeto intitulado *OS MINERAIS DAS ROCHAS e o Arquiteto na Cadeia Produtiva das Rochas Ornamentais*, tem por objetivo geral, integrar nas graduações, as áreas de conhecimento da Geologia, Engenharia de Minas e Arquitetura, através de um trabalho interdisciplinar que tem como ponto fundamental o conhecimento dos “MINERAIS COMPONENTES DAS ROCHAS” e o rebatimento da composição mineralógica nas aplicações que vem sendo observadas aleatoriamente em campo, visando particularmente fornecer aos estudantes de arquitetura uma formação mais fundamentada a cerca dos minerais, classificação de rochas e adequação das especificações feitas para os projetos de arquitetura. Nesse contexto, os estudantes de Geologia e Engenharia de Minas, passam a conhecer um pouco da demanda de usos na arquitetura.

METODOLOGIA DO PROJETO

Reunidos em um Projeto de Extensão Universitária, 25 ALUNOS das três áreas de conhecimento foram motivados a pesquisar 12 tipos de rochas ornamentais detectadas no mercado local como sendo algumas das mais procuradas pelos usuários. A idéia de absorver uma demanda de mercado, partiu de orientação pedagógica, como forma de aproximar os alunos não só do próprio mercado mas também de “algumas realidades” de aplicação já detectadas em observações de campo conforme referido no acima.

O primeiro contato dos alunos, deu-se com as placas de rochas selecionadas, seguido pela tentativa de identificação dos seus minerais essenciais e acessórios componentes. Esse foi um momento de grandes descobertas para os alunos de arquitetura principalmente, através do contato e manuseio dos minerais em suas formas cristalográficas características. Num segundo momento, deu-se o repasse do conhecimento necessário para uma classificação prévia de rochas utilizada na prática de campo, que é a estimativa de percentuais de quartzo, feldspato potássico (KF) e plagioclásio, pelo método ou diagrama de Streckeisen. Complementando essa parte, alertou-se os alunos de arquitetura, para outros métodos complementares de maior precisão como a contagem de pontos e a análise de lâminas em microscópios.

¹ Arquiteta Mestra Professora do Curso de Arquitetura da UFPE, Doutoranda em Geociências pelo PPGEOC-UFPE. E-mail: risale@hotlink.com.br



Placas de Rochas e Minerais selecionados para exposição no Painel

Com os conhecimentos gerais em pauta, a orientação foi focada em observações de campo, referenciais trazidos por profissionais especialistas voluntários que se juntaram ao trabalho em diversos momentos, e comentários criteriosos de professores do departamento de Geologia e Engenharia de Minas, baseados na prática de assentamentos diversos de rochas ornamentais observados.

A partir de então, o foco passou a ser: o que especificar para interiores, exteriores, "áreas molhadas" como sanitários e jardineiras, locais sujeitos a tráfego intenso de pessoas, escada-

rias, balcões e bancadas, entre muitas outras formas e opções de uso que a própria arquitetura brasileira não contempla, mas que as bibliografias internacionais apontam como soluções viáveis e até inusitadas...

FORMA DE APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Inserido na programação da *I FEIRA DE MINERAIS E ROCHAS ORNAMENTAIS*, realizada no Centro de Artes e Comunicação da UFPE em Novembro de 2006, o *PAINEL DE ROCHAS ORNAMENTAIS* foi apresentado pela primeira vez à comunidade acadêmica em 12 Expositores, executados artesanalmente por componentes da *ONG TARECO E MARIOLA* de Belo Jardim, interior de Pernambuco, apoiada pelo Grupo Industrial das Baterias Moura. As peças são formadas por sobras de bobinas que acondicionam componentes de fabricação de baterias, que foram montadas funcionalmente para mostrar na parte central a placa da rocha e em compartimentos laterais os minerais essenciais, alguns acessórios, fragmentos de placas e em alguns casos, amostras brutas.

Essa forma de apresentação foi direcionada para alunos do curso de arquitetura, design, artes plásticas e demais comunidade acadêmica incluindo os visitantes que circularam na feira, visando apresentações futuras.

Complementando o Painel, foram expostos 8 Banners como "pano de fundo", com o objetivo de informar sobre a "inserção do Arquiteto na Cadeia Produtiva das Rochas Ornamentais".

Os monitores, que foram os 25 alunos envolvidos no projeto, ficaram a disposição dos interessados para informar sobre as especificações e aplicações.

Foi fundamental nessa troca de conhecimentos, a participação dos alunos de Geologia e Engenharia de Minas que até então nem imaginavam quanto há em comum entre as três profissões!

Todos, de forma integrada interagiram nas explicações, ora acionando os mais aptos para esclarecer questões da arquitetura, ora os mais aptos em questões de engenharia de minas ou geologia.

Vale ressaltar que, todo o conhecimento, foi repassado para os alunos que não são “da área”, da forma mais prática possível, visando não somente prover um campo de estudo não abordado dentro do curso de arquitetura, mas motivar um investimento futuro em pós-graduações no segmento das rochas ornamentais.



Vista Geral do Painel com os Banners da Cadeia Produtiva

CONTEÚDO DE ABORDAGEM:

Rochas estudadas:

É importante esclarecer que não houve nenhuma intenção de promover nenhum dos materiais estudados. A escolha deu-se como foi dito anteriormente, por demanda (preferência de usuário) e a confecção das placas do painel contou com a colaboração da empresa Marmopedras estabelecida na cidade de Olinda, que mostrou-se disposta a colaborar com a iniciativa acadêmica.

Além da classificação dos 12 tipos de rochas, sendo 3 exemplos em mármore (um deles importado) e 9 exemplos em rochas da família dos granitos, em um segundo momento da apresentação, por ocasião das *Comemorações dos 50 Anos da Geologia na UFPE* em maio de 2007, foram informadas as procedências das amostras além dos valores aproximados por m² praticados na comercialização.

Isto porque, na primeira apresentação, muitas perguntas foram feitas nesse sentido e os alunos ficaram sem respostas.

Assim, dos 12 tipos de rochas estudadas, três foram mármore, sendo dois nacionais e um importado como já foi dito e os demais classificados como segue:

Mármore:

Mármore nacional Branco Pinta Verde

Mármore nacional Travertino

Mármore importado Branco Pyguês

Granitos:

Cinza Corumbá *SIENOGRAITO*

(*substituído pelo metaconglomerado Tropical Gauguin - RN nesta terceira edição*)

Cinza Ocre *SIENOGRAITO*

Branco Cristal *TONALITO*

Arabesco *GRANITO*

Amarelo Icaraiá *GRANITO*

Vermelho Ventura *GRANITO*

Rain Forest *SIENOGRAITO*

Verde Ubatuba *CHARNOQUITO*

Marrom Imperial *SIENITO*

Orientações de Professores e de Especialistas Voluntários em prol da melhor compreensão dos Minerais das Rochas do Painei:

Na primeira apresentação que foi aprovada como atividade de extensão, 25 alunos das duas áreas foram orientados pelas professoras Lucila Borges, Carlinda Farias e Risale Neves; pelo geólogo Vanildo Mendes da CPRM e pelo presidente do Sindicato dos Extratores de Mármore e Granitos do Estado de Pernambuco Engenheiro José Carlos de Queiroga Cavalcanti.

Na segunda apresentação, novos alunos se incorporaram e foram orientados pelas professoras Lucila Borges, Risale Neves e Ignez Guimarães, tendo como referencial bibliográfico a temática do Curso Conhecendo as Rochas Ornamentais ministrado durante a *I Feira de Minerais e Rochas Ornamentais* realizada em 2006; outros textos recomendados e ainda a troca de conhecimentos com os alunos de geologia e engenharia de minas. Estes, pelos conhecimentos inerentes ao próprio curso, tem sido o suporte para os questionamentos mais específicos suscitados durante as apresentações do Painei e em troca, têm se familiarizado com os problemas decorrentes das más aplicações que já vem sendo visualizados e contabilizados a pelo menos dez anos pelos especialistas que investem nesse segmento e que já estão sendo bem conhecidos dos estudantes de arquitetura que tiveram acesso às aulas da professora Risale Neves nas disciplinas do Curso de Arquitetura, entre outras apresentações, como as palestras proferidas no V SRONE em 2005.

A professora Lucila Borges, mostrou aos alunos de arquitetura os minerais em sua forma natural, chamou a atenção para as propriedades diagnósticas e para as utilizações em todos os segmentos que permeiam o dia a dia das pessoas, o que foi ilustrado com oito banners que enfocam os minerais na casa; na saúde, na moda, na construção civil e indústria de modo geral entre outras abordagens e que constituíram, na Feira, o cenário da "Exposição de Minerais Raros".

A professora Ignez Guimarães, conferiu a classificação das rochas que foram motivo de estudo dos alunos de geologia a partir do diagrama de STRECKEISEN, repassou o método de classificação de forma bem prática para os alunos de arquitetura a partir dos percentuais de minerais essenciais detectados em amostra bruta, por exemplo, acrescentando que outros métodos de maior precisão podem ser adotados quando necessário, como a contagem de pontos a partir do estudo de lâminas em mineralogia óptica. Reforçou ainda o que já vinha sendo mostrado

em exemplos: minerais que possuem ferro na sua composição, como a BIOTITA, determinado tipo de GRANADA e a PIRITA, presentes em vários tipos de rochas, são pontos críticos, pois levam as mesmas à oxidação na maioria dos casos, quando aplicadas em locais expostos a umidade.

A professora Risale Neves, reforçou em todos os momentos a importância do arquiteto conhecer toda a cadeia produtiva das rochas ornamentais e o que demanda de cada uma das suas etapas, mostrando sempre exemplos de ocorrências em cada uma delas e chamando a atenção para o compromisso que o arquiteto deve ter: aliar à estética inerente à profissão ao conhecimento geológico, e mineralógico, visando garantir o satisfatório desempenho das rochas quando especificadas e aplicadas nas edificações.

Para esta terceira apresentação no VI SRONE, mais uma professora voluntária se integrou na orientação dos alunos, trazendo um enfoque de extrema importância: a "alterabilidade". A engenheira e professora Felisbela Oliveira, do Departamento de Geologia, convidada para colaborar no Workshop programado para este Simpósio, enriqueceu a orientação, agregando novas informações e tirando dúvidas dos alunos que vão monitorar os trabalhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interação entre a Arquitetura e a Geologia, foi proposta pela arquiteta e professora do Curso de Arquitetura da UFPE Risale Neves, em seu projeto de doutoramento no programa de Pós-graduação em Geociências da UFPE. Partindo do princípio de que as rochas só podem ser compreendidas a partir da identificação dos seus minerais constituintes, a idéia de levar esse conhecimento para a arquitetura foi apresentada pela professora Risale à professora geóloga Lucila Borges, responsável pela área de mineralogia do CTG em 2006 e uma vez acatada a idéia, esta gerou a primeira apresentação do Painel de Rochas na *I Feira de Minerais e Rochas Ornamentais* realizada no Centro de Artes e Comunicação da UFPE em novembro de 2006 e motivou a segunda, nas comemorações dos *50 anos do Curso de Geologia* em maio de 2007. Esta é a terceira apresentação, neste *VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*.

O método de classificação de rochas adotado no Painel, não visou precisão, mas uma forma de fácil assimilação principalmente pelos alunos que não são da área, podendo haver opinião divergente por parte de algum observador. A base científica utilizada então para uma primeira investida na classificação, foi o diagrama de STRECKEISEN, que se reporta a maior, menor ou nenhum percentual de determinado mineral considerado essencial, e às características das rochas quando sedimentares, magmáticas ou metamórficas. Foi fortalecida a compreensão de que o rebatimento negativo da mineralogia das rochas, quando aplicadas em revestimentos diversos, elementos construtivos ou de composição arquitetônicas pode ser prevenido, controlado ou minimizado, se observadas a natureza e o histórico das rochas em cada etapas da cadeia produtiva até a sua aplicação.



Entrada da I Feira de Minerais e Rochas em Novembro de 2006 CAC UFPE

O Painel de Rochas deverá ser levado adiante, agregando novos alunos, professores voluntários, novos exemplos de rochas e consequentemente novos conhecimentos, sob a coordenação das professoras que o idealizaram: Risale Neves Almeida e Lucila Ester Prado Borges. Independentemente de qualquer abordagem didática dentro dos cursos de graduação envolvidos no decorrer do próximo ano, o Painel deverá ter a quarta apresentação na *II Feira de Minerais e Rochas*, que está programada para Outubro de 2008 no Centro de Convenções da Universidade Federal de Pernambuco, coordenada também pelas professoras Risale e Lucila.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA INDICADA PARA OS ALUNOS

- Teixeira, Wilson; Toledo, M.C.; Fairchild, T.; Taioli, F. Decifrando a Terra, Cap 16. Oficina de Textos, São Paulo 2003.
- Frasca, Maria Heloísa Oliveira. Durabilidade e Alterabilidade em Rochas Ornamentais e para Revestimento. Rev. Rochas de Qualidade Ed. 180 p 178-188, Janeiro-Fevereiro. Ed. Ass. Ltda. São Paulo 2005.
- Chiodi Filho, Cid. Critérios Gerais de Classificação e Especificação de Rochas para Revestimento. Rev. Pedras do Brasil Ed. 43 p 36-39, Outubro. Vitória E.S. 2005.
- Rodrigues, Eleno de Paula. Importância dos Ensaios Tecnológicos em Rochas Ornamentais. Rev. Rochas de Qualidade Ed. 192 p 184-188, Janeiro/Fevereiro. Ed. Ass. Ltda. São Paulo 2007.
- Bezerra de Melo, Evenildo; Oliveira, Felisbela M.C. Pesquisa Geológica de Detalhe em Jazidas Ornamentais. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, ANAIS Recife 2005.
- Navarro & Artur. Caracterização Petrográfica para a Previsão do Comportamento Físico Mecânico de Granitos Ornamentais. Rev. Rochas de Qualidade Ed. 177 p 164-192, Julho/Agosto. Ed. Ass. Ltda 2004.
- Ribeiro, Adalberto de Figueiredo e outros. Mármore Bege Bahia em Ourolandia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento sustentável. CBPM-Série Arquivos Abertos 17, Salvador 2002.
- Neves, Risale. Projeto de Peças em Mármore e Granitos. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, ANAIS Recife 2005.

Neves, Risale. Rochas Ornamentais: o que os arquitetos precisam saber.

Rev. Pedras do Brasil Ed. 47 p 14-15, Abril. Vitória E.S. 2006.

Vilarinho, Vanessa. Potencial da Ardósia. Rev. Pedras do Brasil Ed. 30 p 20-21, Setembro. Vitória E.S. 2004.

Bruce, Graeme. Ardósia O que é ? Para que serve? Rev. Pedras do Brasil Ed 31 p 44-45, Outubro. Vitória E.S. 2004.

Fornazier, Alessandra. Especial Mármore. Rev. Pedras do Brasil Ed. 32 p 23- 31, Novembro. Vitória E.S. 2004.

CAPÍTULO 2

SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS BRASILEIRAS NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

*Cid Chiodi Filho*¹

RESUMO

A produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 milhões de toneladas/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 92,8 milhões de toneladas/ano. Cerca de 41,4 milhões de toneladas de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2006, devendo-se atingir a casa dos 45 milhões de toneladas em 2007. Estima-se que o setor de rochas esteja atualmente movimentando US\$ 80 bilhões a US\$ 100 bilhões/ano. No ano de 2006, o Brasil colocou-se como 4º maior produtor e exportador mundial de rochas em volume físico, como 2º maior exportador de granitos brutos, como 4º maior exportador de rochas processadas especiais, e como 2º maior exportador de ardósias, além de ser o principal fornecedor de chapas de granito para os EUA. No Brasil são registradas atividades de extração em cerca de 400 municípios, assumindo-se a existência de 1.800 frentes ativas de lavra e a produção de 1.200 variedades comerciais de rochas. A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 7,5 milhões de toneladas no ano de 2006. Essa produção envolveu uma grande variedade de materiais, que inclui granitos, mármore, quartzitos maciços e foliados, ardósias, pedra-sabão, metaconglomerados, serpentinitos, travertinos, calcários (limestones) e outras. As exportações brasileiras de rochas ornamentais, também no ano de 2006, tiveram incremento de 32,30% e atingiram US\$ 1,045 bilhão, com vendas para mais de 120 países em todos os continentes. Estima-se que, entre negócios relativos aos mercados interno e externo, o setor brasileiro de rochas ornamentais tenha movimentado transações comerciais de US\$ 3,6 bilhões em 2006. As 12.000 empresas integradas à cadeia produtiva do setor, no Brasil, são responsáveis por cerca de 145 mil empregos diretos e 420 mil empregos indiretos. O ano de 2007 deverá representar uma fase de transição e mudanças para o setor de rochas, relacionadas à passagem de um período de excepcional aquecimento da demanda mundial, vigente entre 2002 e 2006 e fundamentalmente ligada à China e EUA, para um período menos exuberante nos próximos cinco anos, quando será mais acirrada a competição no mercado internacional.

¹ Geólogo, Sócio-Gerente da Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos Ltda. Consultor da ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. E-mail cdchiodi@terra.com.br

PANORAMA MUNDIAL DO SETOR DE ROCHAS

A força do setor de rochas ornamentais e de revestimento pode ser mensurada ao verificar-se que a produção mundial de suas matérias-primas evoluiu de 1,8 milhões de toneladas/ano, na década de 1920, para um patamar de 92,8 milhões de toneladas em 2006 (Quadro 1). 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 das mais importantes áreas emergentes de negócios mínero-industriais.

Quadro 1: Principais Produtores Mundiais de Rochas Ornamentais

Países	2002		2003		2004		2005		2006	
	Mt	%								
China	14,00	20,8	17,50	23,3	18,0	22,2	20,0	23,5	22,50	24,2
Itália	8,00	11,9	7,85	11,0	7,65	9,4	7,5	8,8	7,65	8,2
Índia	6,50	9,6	8,50	11,3	9,5	11,7	10,0	11,7	11,50	12,4
Espanha	5,35	7,9	5,75	7,7	6,25	7,7	6,3	7,4	6,00	6,5
Irã	4,25	6,3	4,85	6,5	5,25	6,5	5,5	6,5	6,45	6,9
Brasil	2,75	4,1	3,20	4,3	4,0	4,9	4,5	5,3	5,50	5,9
Brasil*	5,56	8,3	6,09	8,1	6,45	7,9	6,9	8,1	7,50	8,1
Portugal	2,30	3,4	2,25	3,0	2,45	3,0	2,5	2,9	2,75	3,0
Turquia	2,50	3,7	3,25	4,3	4,2	5,2	4,75	5,6	6,20	6,7
EUA	2,00	3,0	2,25	3,0	2,3	2,8	2,4	2,8	2,25	2,4
Grécia	1,50	2,2	1,45	1,9	1,4	1,7	1,35	1,6	1,40	1,5
Egito					3,2	3,9	3,25	3,8	3,50	3,8
Outros	17,85	26,5	18,15	24,2	17,05	20,1	17,2	20,2	9,55	10,3
Total	67,50	100	75,00	100	81,25	100	85,25	100	92,75	100

Mt = milhões de toneladas. Fonte: Carlo Montani - Stone 2007; *Abirochas, 2007

Cerca de 41,4 milhões de toneladas de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2006 (Quadro 2), devendo-se atingir a casa dos 45 milhões de toneladas em 2007. Somando-se as transações diretas do mercado internacional e dos mercados internos dos países consumidores, bem como a comercialização de máquinas, equipamentos, insumos e serviços, estima-se que o setor de rochas esteja atualmente movimentando US\$ 80 bilhões a US\$ 100 bilhões/ano.

Quadro 2: Balanço das Exportações Mundiais

Produto / NCM		2003		2004		2005		2006	
		1.000t	%	1.000t	%	1.000t	%	1.000t	%
RSB	2516	8.346	28,2	10.237	31,2	10.266	28,5	10.562	25,5
RCB	2515	5.206	17,6	5.430	16,5	6.265	17,4	7.495	18,1
RPE	6802	11.758	39,7	13.202	40,2	14.582	40,4	18.138	43,8
RPS	6801	3.206	10,8	2.726	8,3	3.689	10,2	3.804	9,2
PA	6803	1.070	3,6	1.252	3,8	1.256	3,5	1.369	3,3
Total		29.586	100	32.847	100	36.058	100	41.368	100

RSB – rochas silicáticas brutas; RCB – rochas carbonáticas brutas; RPE – rochas processadas especiais; RPS – rochas processadas simples; PA – produtos de ardósia.

Fonte: Montani (2004 a 2007)

O Brasil é mundialmente reconhecido pela excepcional geodiversidade mineral, inclusive nas rochas ornamentais, com destaque para seus materiais silicáticos (granitos e similares) e silicosos (quartzitos e similares). A produção e exportação desses granitos e quartzitos, além de ardósias e outras rochas menos comuns, têm evidenciado forte crescimento, traduzindo a capacidade brasileira de transformar recursos minerais em negócios mínero-industriais.

A partir da década de 1990, o Brasil experimentou um notável adensamento das atividades em todos os segmentos de sua cadeia produtiva. Os principais avanços recentes das atividades de lavra e beneficiamento foram decorrentes do aumento das exportações, que evidenciaram uma evolução tanto quantitativa quanto qualitativa. Foram superadas as expectativas de venda de chapas polidas de granito, tendo-se consagrado a marca "made in Brazil" para essas chapas e para produtos finais de ardósias, quartzitos e pedra-sabão, no mercado internacional.

No ano de 2006, o Brasil colocou-se assim como 4º maior produtor e exportador de rochas em volume físico, como 2º maior exportador de granitos brutos, como 4º maior exportador de rochas processadas especiais, e como 2º maior exportador de ardósias (Quadros 1 e 3), além de ser o principal fornecedor de chapas de granito para os EUA. O Brasil teve assim participação de 11,8% nas exportações mundiais de rochas silicáticas brutas, de 5,1% nas de rochas processadas especiais e de 16,5% nas de ardósias, compondo 6,3% do volume físico do intercâmbio mundial (Quadros 3 e 4).

Quadro 3: Ranqueamento dos Principais Países Exportadores de Rochas Ornamentais e Volume Físico Exportado por Tipo de Produto Comercial – Base 2006

	Código 2515		Código 2516		Código 6801		Código 6802		Código 6803	
	País (1000 t)		País (1000 t)		País (1000 t)		País (1000 t)		País (1000 t)	
1º	Turquia	2.130	Índia	2.934	Índia	480	China	8.727	Espanha	726
2º	Itália	885	Brasil	1.248	Portugal	441	Itália	1.965	Brasil	215
3º	Egito	855	China	960	China	419	Turquia	1.646	China	146
4º	Espanha	810	África Sul	573	Bélgica	306	Brasil	927	Índia	50
5º	Iran	389	Portugal	333	Itália	201	Índia	885	Itália	21
6º	Grécia	282	Espanha	327	Holanda	195	Espanha	529	Canadá	21
7º	Portugal	250	Finlândia	312	Alemanha	155	Canadá	319	Taiwan	18
8º	Índia	173	Noruega	294	Polônia	153	Portugal	306	Bélgica	13
9º	Bélgica	156	Alemanha	283	Brasil	135	Egito	228	Alemanha	11
10º	Croácia	110	Turquia	205	R.Tcheca	113	Bélgica	223	Noruega	9
	Outros	1.455	Outros	3.093	Outros	1.206	Outros	2.383	Outros	139
	Total	7.495	Total	10.562	Total	3.804	Total	18.138	Total	1.369

2515 – rochas carbonáticas brutas; 2516 – rochas silicáticas brutas; 6801 – rochas processadas simples; 6802 – rochas processadas especiais; 6803 – produtos de ardósia. Fonte: Carlo Montani - Stone 2007

Quadro 4: O Brasil no Mercado Internacional de Rochas – 2006

4º maior produtor (8,1% da produção mundial);

5º maior exportador em volume físico (6,3% do total mundial);

2º maior exportador de granitos brutos (11,8% do total mundial);

4º maior exportador de rochas processadas especiais (5,1% do total mundial);

2º maior exportador de ardósias (16,5% do total mundial).

As projeções de consumo/produção e exportações das matérias-primas da construção civil não apontam mudanças de paradigmas, indicando a manutenção da tendência de crescimento registrada para o setor de rochas ao longo das últimas décadas. Prevê-se que no ano de 2025 a produção mundial de rochas ornamentais atingirá 437 milhões de toneladas, correspondentes a quase 4,8 bilhões de m² equivalentes/ano, devendo-se ainda multiplicar por cinco o volume físico das atuais transações internacionais. As atividades de beneficiamento industrial deverão cada vez mais aproximar-se das fontes de suprimento/ países produtores, incrementando-se as transações internacionais com rochas processadas acabadas e semi-acabadas, de maior valor agregado.

PERFIL DA PRODUÇÃO E CONSUMO DO SETOR DE ROCHAS NO BRASIL

Entre negócios relativos aos mercados interno e externo, o setor brasileiro de rochas ornamentais já está movimentando transações comerciais de US\$ 3,6 bilhões/ano. As 12.000 empresas integradas à cadeia produtiva do setor, no Brasil, são responsáveis por cerca de 145 mil empregos diretos e 420 mil empregos indiretos (Fig. 1 e Quadro 5). Do total de empresas do setor, cerca de 730 são exportadoras.

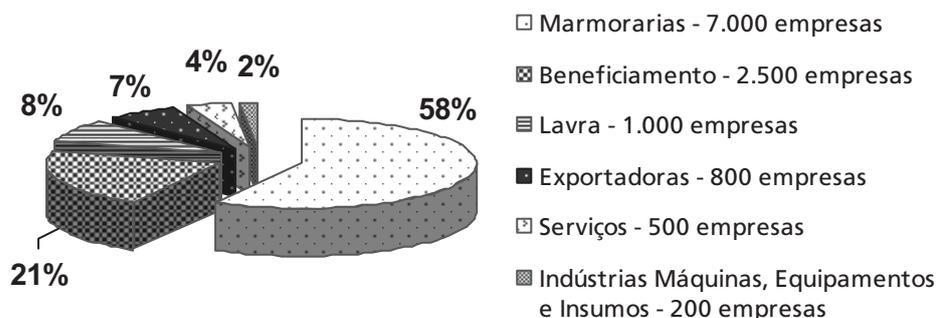


FIG. 1 - Empresas do Setor de Rochas Operantes no Brasil Ano-Base 2006 (Total = 12.000 Empresas)

Quadro 5: A Dimensão do Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais - 2006

Produção de 7,5 milhões de toneladas;
 1000 variedades comercializadas nos mercados interno e externo;
 1800 pedreiras ativas;
 12.000 empresas operando na cadeia produtiva;
 145.000 empregos diretos e 435.000 empregos indiretos;
 Capacidade de produção de 60 milhões m²/ano de rochas processadas especiais;
 US\$ 1,045 bilhão e 2,59 milhões t exportadas;
 Crescimento de 32,3% em valor e 20,0% em volume de exportações em relação a 2005;
 Exportações de 17 milhões m² equivalentes de chapas de granito e mármore (2 cm de espessura);
 Mais de 700 empresas exportadoras em 23 estados da Federação (vendas para 120 países);
 Transações comerciais de US\$ 3,6 bilhões nos mercados interno e externo.

São identificadas 18 aglomerações produtivas (clusters) de rochas ornamentais no Brasil, distribuídas por 80 municípios em 10 estados da Federação. A maior parte desses arranjos produtivos está localizada na região sudeste, pela proximidade geográfica com os principais pólos de consumo, beneficiamento e exportação. Mais amplamente, são registradas atividades de extração em cerca de 400 municípios, assumindo-se a existência de 1.800 frentes ativas de lavra e a produção de 1.200 variedades comerciais de rochas.

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 7,5 milhões de toneladas no ano de 2006. Essa produção envolveu uma grande variedade de rochas, que inclui granitos, mármore, quartzitos maciços e foliados, ardósias, pedra-sabão, metaconglomerados, serpentinitos, travertinos, calcários (limestones) e outras, comercializadas nos mercados interno e externo (Fig. 2). A distribuição regional da produção é mostrada na Fig. 3.

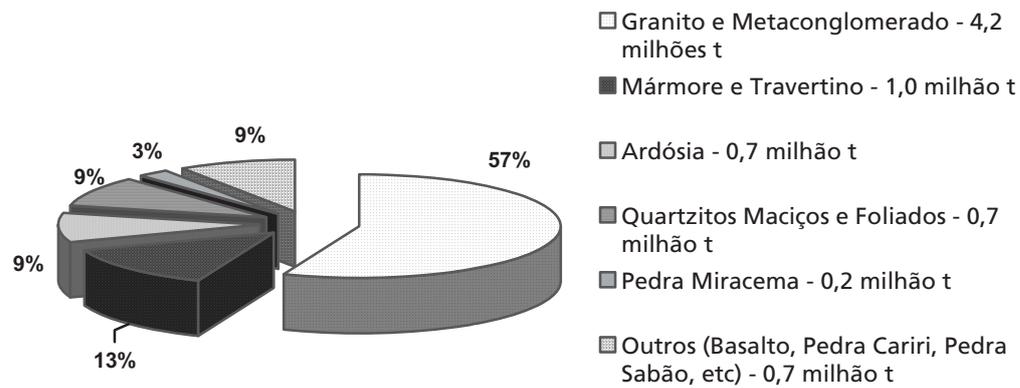


Figura 2: Perfil da Produção Brasileira por Tipo de Rocha Ano-Base 2006 (Total da Produção = 7,5 milhões t)

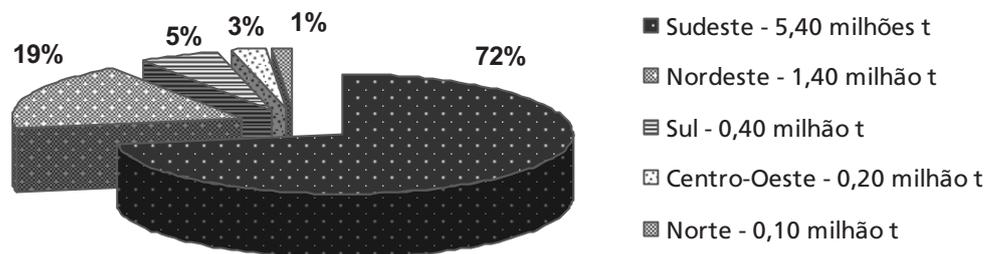


Figura 3: Distribuição Regional da Produção Bruta de Rochas Ornamentais no Brasil – Ano-Base 2006 (Total da Produção = 7,5 milhões t)

O Espírito Santo responde por quase 50% da produção brasileira de rochas e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos. O Estado de Minas Gerais responde pela quase totalidade da produção e exportação de ardósias, quartzitos foliados (tipo Pedra São Tomé) e pedra-sabão. A maior parte da produção dos chamados granitos exóticos provém dos estados de Minas Gerais e Bahia, concentrando-se neste último a produção das novas variedades de quartzito maciço exportadas pelo Brasil.

As exportações de chapas serradas em teares e talha-blocos, sobretudo com acabamento polido, somaram cerca de 17 milhões m² equivalentes (2 cm de espessura) em 2006. Considerando-se que houve demanda de serragem estimada em 38 milhões de m² equivalentes para o mercado interno, refere-se que o processamento total de chapas em teares e talha-blocos tenha atingido 55 milhões m² em 2006.

Estima-se que o parque brasileiro de beneficiamento tenha hoje uma capacidade instalada de serragem e polimento para 60 milhões m²/ano (granitos, mármore e outras rochas extraídas em blocos), bem como para mais 40-50 milhões m²/ano em rochas de processamento simples (ardósias, quartzitos e gnaisses foliados, etc.). Pelas tendências observadas para os mercados interno e externo, projeta-se que essa demanda de serragem poderá elevar-se até 60 milhões m² em 2007.

As rochas mais utilizadas no Brasil são as silicáticas, que abrangem granitos e suas variedades. Seguem-se os mármore, travertinos e limestones (rochas carbonáticas), as ardósias (rochas síltico-argilosas) e os quartzitos maciços e foliados (rochas silicosas). Sua preferência é decorrente de diversos fatores, ligados à disponibilidade das matérias-primas, cultura de utilização, tendências de mercado, parâmetros estéticos e qualificação físico-mecânica. O mercado imobiliário de alto padrão continua demandando preferencialmente mármore importados para os ambientes internos, tendo-se cerca de 30 a 40 variedades de materiais italianos, gregos, espanhóis, turcos e portugueses mais difundidos no país.

Para efeito de cálculos expeditos, pode-se referir que, das 7,5 milhões de toneladas de rochas ornamentais, produzidas no Brasil em 2006, 57% foram consumidas no mercado interno e 43% destinadas, como rochas brutas ou após beneficiamento, ao mercado externo (Quadro 6). Também em valores aproximados, transformando-se a produção para o mercado interno em metros quadrados equivalentes de chapas, com 2 cm de espessura, o consumo aparente de produtos brasileiros foi de 52,5 milhões de m² em 2006, totalizando 53,8 milhões de m² se somados os produtos importados (Fig. 4). Considerando-se, no entanto, que os produtos convencionais de ardósias, quartzitos foliados e outras rochas de processamento simples têm no geral espessura inferior a 2 cm, pode-se dizer que o consumo interno real somou cerca de 64 milhões de m² em 2006.

Quadro 6: Evolução da Produção Brasileira de Rochas

Período	Produção (t)		
	Mercado Externo	Mercado Interno	Total
2000	1.288.993,0 24,6%	3.939.607,0 75,4%	5.228.600,0 100%
2001	1.319.261,8 25,6%	3.824.104,6 74,4%	5.153.366,4 100%
2002	1.567.987,4 28,0%	4.031.967,6 72,0 %	5.559.955,0 100 %
2003	1.947.539,6 32,0%	4.138.521,7 68,0%	6.086.061,3 100 %
2004	2.324.783,4 36,0%	4.132.948,3 64,0%	6.457.731,7 100%
2005	2.719.996,6 (+17%) 39,5%	4.174.277,8 (+1%) 60,5%	6.894.274,4 (+6,8%) 100%
2006	3.263.995,9 (+20%) 43,4%	4.257.763,4 (+2%) 56,6%	7.521.759,3 (+9,1%) 100%

São Paulo é responsável, segundo estimativas, por 50% do consumo brasileiro de rochas, seguindo-se os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (Fig. 5). Conjuntamente, os estados da Região Sudeste, incluindo-se o Espírito Santo, respondem por aproximadamente 70-75% do consumo interno de rochas e, provavelmente, pelo mesmo percentual dos demais materiais de revestimento. Existe, a propósito, uma relação geográfica direta entre produção e consumo de rochas ornamentais, o que concorre para o destaque da Região Sudeste.

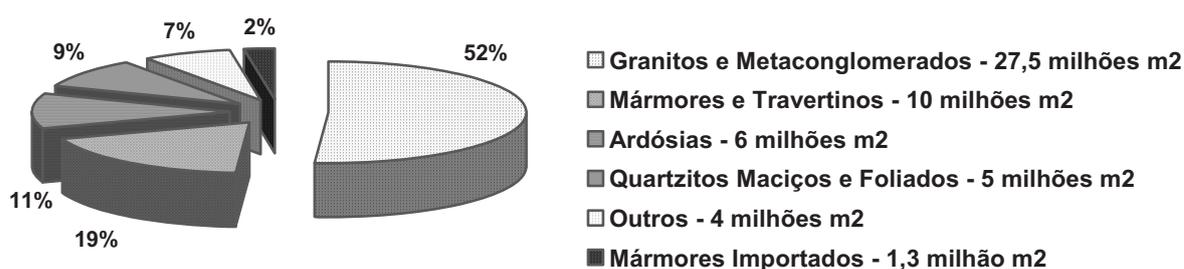


Figura 4: Consumo Interno Aparente de Rochas Ornamentais no Brasil
Ano-Base 2006 (Total = 53,8 milhões m2 equivalentes com 2 cm de espessura)

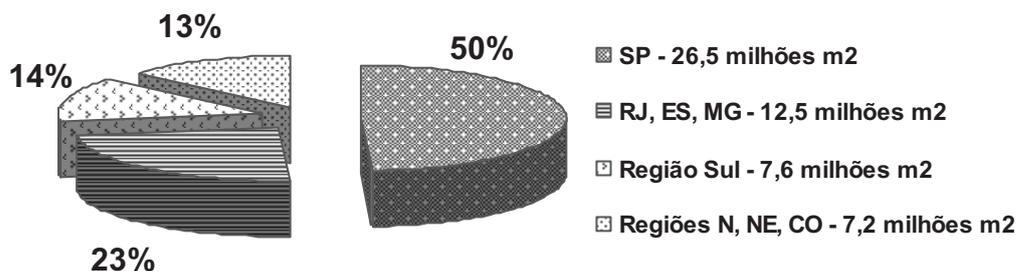


Figura 5: Distribuição do Consumo Interno Aparente por Estados e Regiões – Ano-Base 2006 (Total = 53,8 milhões m² equivalentes com 2 cm de espessura)

Do ponto de vista dos principais usos e aplicações, cerca de 80% dos produtos comerciais referem-se a chapas para revestimentos, incluindo-se pavimentos externos e internos (pisos), superfícies verticais externas (fachadas) e internas (paredes), degraus (base e espelho) e tampos em geral (pias, mesas, balcões, etc.). Os demais 20% envolvem peças estruturais (colunas, etc.), arte funerária (lápides e adornos) e trabalhos especiais (esculturas e peças usinadas).

Observando-se a distribuição percentual dos usos, refere-se que dos 37,5 milhões de m² de granitos e rochas carbonáticas nacionais (vide Fig. 4), 30 milhões de m² (80%) envolvem revestimentos verticais e horizontais. Desses 30 milhões de m², estima-se que 18 milhões de m² (60%) dizem respeito a pisos e tampos (12,6 milhões de m² para pisos e 5,4 milhões de m² para tampos) e 12 milhões de m² (40%) a paredes e fachadas.

Para as rochas carbonáticas importadas, que somaram 1,3 milhão de m² em 2006, praticamente tudo é destinado a revestimentos (50% para pisos, 30% para paredes e fachadas e 20% para tampos). Para as demais rochas nacionais (ardósias, quartzitos foliados e outras), que somaram 15 milhões de m² de consumo no mercado interno em 2006, cerca de 12 milhões de m² (80%) são utilizados especificamente em pisos, com apenas 3 milhões de m² (20%) para revestimentos verticais e outros usos.

Assim como em outros países onde, por limitações econômicas e de poder aquisitivo, demanda-se sobretudo preço, também no Brasil os revestimentos cerâmicos, geralmente mais acessíveis para o consumidor, acabam tendo maior aceitação e penetração do que os materiais naturais. Como produto industrializado, as cerâmicas de revestimento são controladas por um número menor de grandes empresas, que possuem meios e modos mais adequados de relacionamento com especificadores e atendimento aos clientes.

Ademais, o setor cerâmico conseguiu traduzir, como atributos comerciais importantes, a maior padronização e facilidade de especificação de seus produtos quanto às características tecnológicas, ao mesmo tempo em que procuram cada vez mais explicitamente identificar tais produtos com materiais rochosos naturais. Cabe ao setor de rochas lapidar a noção de que os materiais naturais são antes especialidades comerciais do que commodities, firmando a idéia de que sua maior diversidade (ou falta de padronização) é, da mesma forma, antes um atributo positivo do que uma restrição comercial.

Mesmo com a situação ainda desfavorável da construção civil em 2006, o consumo brasileiro de revestimentos, incluindo-se madeiras, vidros, papel, vinil, têxteis, argamassas, cerâmicas e rochas, superou 1 bilhão de m² (talvez até 1,5 bilhão de m²). Deste total, cerca de 50% (500 milhões de m²) refere-se a produtos cerâmicos. Certamente, com a melhor adequação da estrutura de oferta, os materiais rochosos naturais podem alcançar uma fatia mais significativa do mercado de revestimentos em geral, sobretudo frente às cerâmicas.

Não seria utópico projetar, em um horizonte de cinco anos, desde que segundo bases planejadas e bem orientadas, a duplicação da fatia das rochas no mercado interno. Passaríamos assim de uma participação de 5% do mercado interno (50 milhões de m²), para 10% desse mercado (100 milhões de m²). Para que isto ocorra, são necessários investimentos consideráveis na cadeia produtiva, em recursos humanos e financeiros, visando ao reposicionamento das rochas no mercado interno da construção civil.

EXPORTAÇÕES E IMPORTAÇÕES BRASILEIRAS - BALANÇO DE 2006

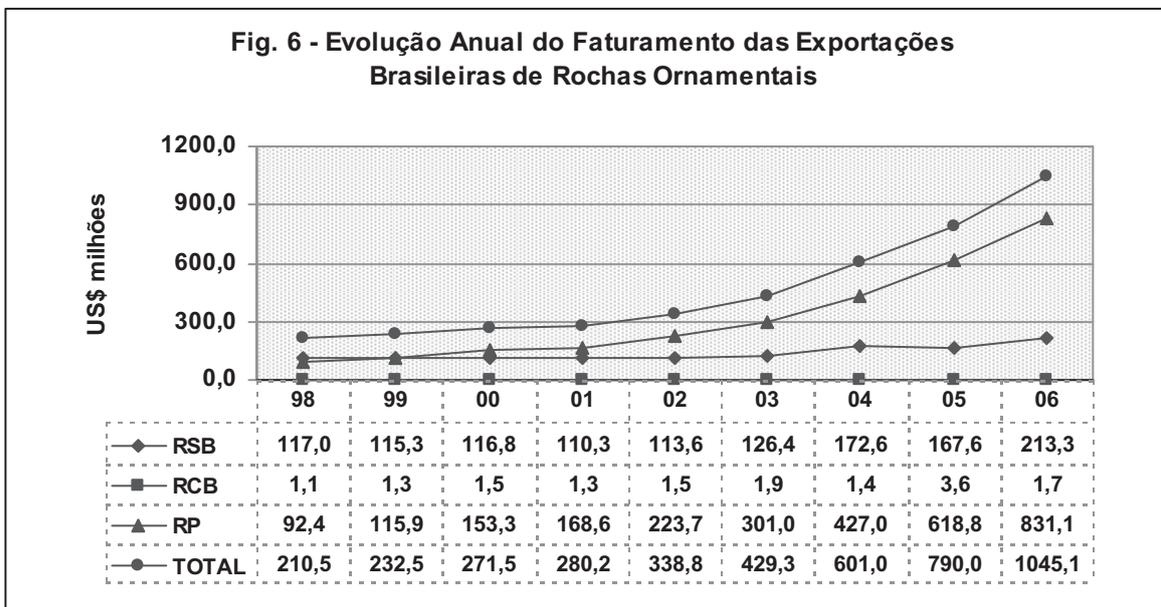
Os principais portos brasileiros, utilizados para exportação de rochas ornamentais, são os de Vitória (ES), Rio de Janeiro e Sepetiba (RJ) e Santos (SP), com menor destaque para os portos da Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraná e outros. O complexo portuário de Vitória concentra a maior parte das exportações de blocos e chapas de granito, sendo a quase totalidade das exportações de ardósias e quartzitos foliados efetuada pelos portos do Estado do Rio de Janeiro (Quadro 7).

Quadro 7: Distribuição das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais
Principais Portos e Produtos Comerciais - Base 2006 (1.000 t)

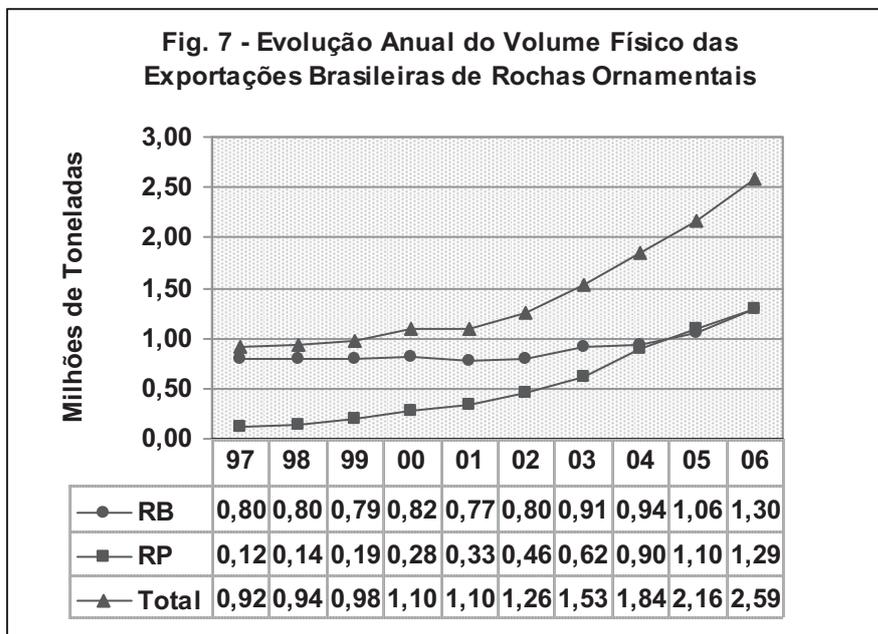
Portos / NCM	6801	PP%	6803	PP%	6802*	PP%	2516**	PP%
Rio de Janeiro	102,7	76,3	175,0	81,4	82,7	9,2	1,6	0,1
Salvador	2,4	1,8	0,5	0,2	16,8	1,9	63,4	5,6
Santos	1,8	1,3	11,0	5,1	72,5	8,0	5,2	0,5
Sepetiba	25,5	18,9	24,1	11,2	54,0	6,0	7,4	0,7
Vitória	0,0	0,0	0,8	0,4	613,5	68,0	1004,6	88,5
Subtotal Portos	132,4	98,4	211,4	98,3	839,5	93,1	1.082,2	95,3
Total Portos Brasil	134,6	100,0	215,0	100,0	901,9	100,0	1.135,4	100,0
(*) 6802.23.00+6802.93.90; (**) 2516.12.00								

Os cinco principais países de destino das exportações brasileiras de rochas, em ordem decrescente de faturamento, são os EUA, Itália, China, Espanha e Reino Unido. Os três principais mercados na América do Sul incluem Argentina, Chile e Venezuela. Os principais estados brasileiros exportadores de rochas, em ordem decrescente de faturamento, envolvem o Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia.

No ano de 2006, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento novamente superaram expectativas e projeções, rompendo as marcas de US\$ 1 bilhão e 2,5 milhões de toneladas. De janeiro a dezembro, essas exportações somaram US\$ 1,045 bilhão, correspondentes à comercialização de 2.589.425,58 toneladas de rochas brutas e processadas, com vendas para mais de 120 países em todos os continentes (Fig. 6 e 7).



RSB: blocos de granito; RCB: blocos de mármore; RP: rochas processadas



RP – rochas processadas; RB – rochas brutas

Frente a 2005, registrou-se variação positiva de 32,30% no faturamento e de 20,02% no volume físico comercializado, índices estes até ligeiramente mais elevados que os do ano anterior (variação de 31,45% em valor e de 17,23% em peso). Essas exportações de 2006 superaram assim em US\$ 251,1 milhões e 428,97 mil t o que foi comercializado em 2005, quase que duplicando o faturamento de 2004. Tal desempenho foi simpático ao quadro positivo da economia mundial e não chegou a refletir os primeiros efeitos da desaceleração do mercado imobiliário residencial dos EUA.

O faturamento mensal das exportações de 2006 oscilou entre um valor mínimo de US\$ 60,19 milhões (janeiro) e um valor máximo de US\$ 106,7 milhões (julho), atingindo US\$ 85,7 milhões no mês de dezembro. O volume físico mensal exportado oscilou, por sua vez, entre 140,8 mil t (fevereiro) e 286,2 mil t (julho), registrando-se 221,0 mil t no mês de dezembro. Os números de julho representaram um recorde mensal histórico do setor de rochas brasileiro.

As exportações de rochas processadas, tanto acabadas quanto semi-acabadas, abrangendo produtos de beneficiamento simples e especial, somaram US\$ 831,1 milhões e representaram 79,52% do total exportado. Em volume físico, as rochas processadas somaram 1.293.171,96 t e representaram 49,94% do total das exportações. A participação das rochas processadas, no total do faturamento e volume físico das exportações, foi praticamente a mesma de 2005.

As exportações de rochas silicáticas e silicosas brutas, correspondentes sobretudo a blocos de granito, somaram US\$ 212,34 milhões e 1.285.623,38 t, compondo respectivamente 20,32% e 49,65% do total exportado. As exportações de rochas carbonáticas brutas, formadas sobretudo por blocos de mármore, somaram por sua vez US\$ 1,74 milhão e 10.630,25 t, correspondentes a respectivamente 0,17% e 0,41% do total exportado.

Frente ao ano de 2005, registrou-se variação positiva, e muito significativa, em valor e volume físico, das exportações brasileiras de rochas processadas (+34,04% e +17,36%) e de rochas silicáticas brutas (+26,72% e +23,11%), com expressivo recuo das exportações de rochas carbonáticas brutas (-27,54% e -6,11%). Os maiores incrementos de faturamento referem-se aos produtos exportados nas posições 2526.10.00 e 6802.29.00 (pedra-sabão), 6802.93.90 (chapas beneficiadas de granitos, quartzitos, metaconglomerados, etc.), 6802.21.00 (chapas beneficiadas e mármore e outras rochas carbonáticas), 2516.11.00 (blocos de granito e outras rochas silicáticas) e 6802.99.90 (produtos acabados diversos).

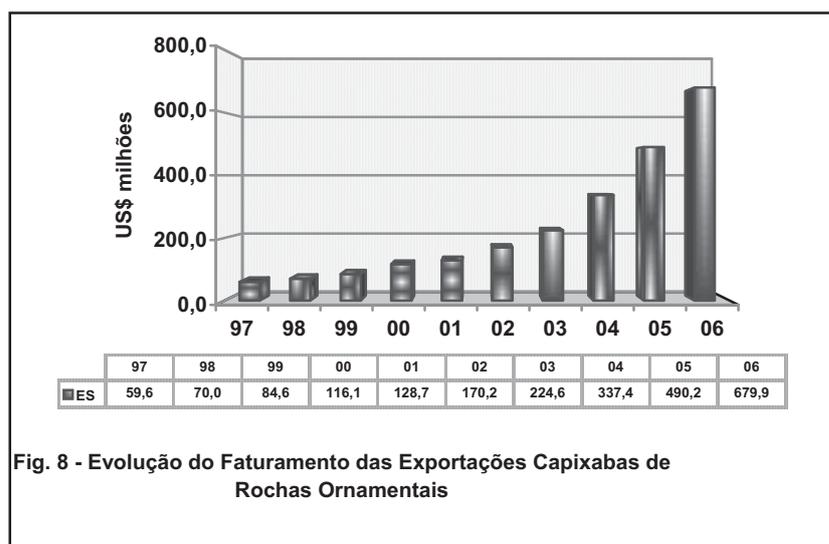
No conjunto das exportações, os seis grupos de produtos comerciais mais importantes abrangem, em ordem decrescente de faturamento: chapas beneficiadas e produtos acabados de granito; blocos e chapas brutas de granito; produtos de ardósia; produtos de quartzitos foliados (tipo pedra São Tomé); produtos de pedra-sabão; e, blocos e chapas brutas de quartzitos maciços (Quadro 8). As chapas beneficiadas e os produtos acabados de granito e rochas similares compuseram 65,86% do total do faturamento das exportações e registraram um crescimento de 35,36% frente a 2005. A maior variação de faturamento (+91,17%) foi registrada para os produtos de pedra-sabão, com os menores índices anotados para os quartzitos maciços (+1,60%).

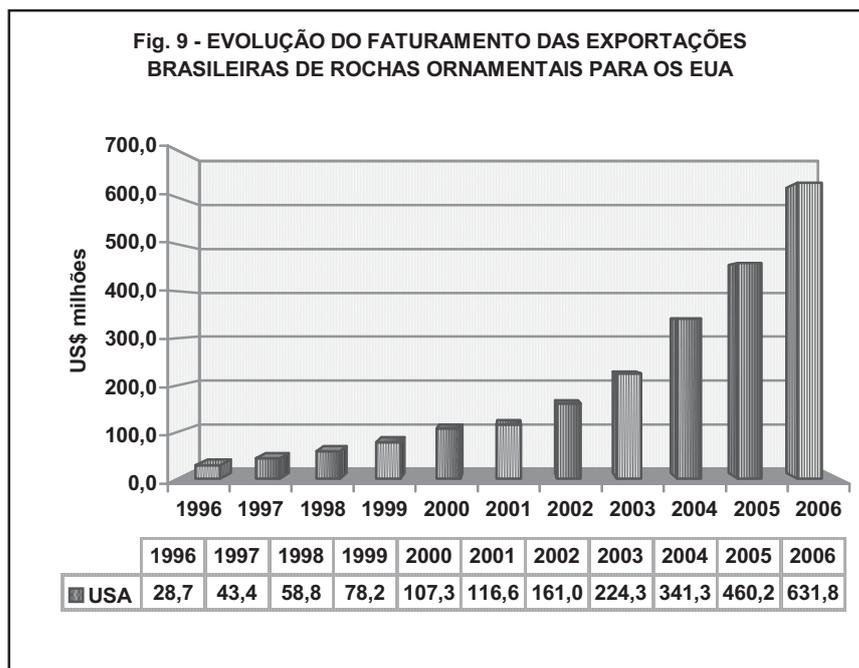
Quadro 8: Principais Produtos Brasileiros Exportados pelo Setor de Rochas Ornamentais em 2006

Produtos	Códigos da NCM	Faturamento (US\$ milhões)	Indicadores (Faturamento)	
			Participação BR	Varição 2006/2005
Chapas Beneficiadas de Granito	6802.23.00 e 6802.93.90	688,30	65,86%	+35,36%
Blocos e Chapas Brutas de Granito	2516.11.00 e 2516.12.00	200,00	19,14%	+28,83%
Produtos de Ardósia	6803.00.00 e 2514.00.00	84,60	8,09%	+23,04%
Quartzitos Foliados	6801.00.00	32,83	3,14%	+20,48%
Produtos de Pedra-Sabão	2526.10.00 e 6802.29.00	15,37	1,47%	+91,17%
Quartzitos Maciços e Plaqueados	2506.21.00 e 2506.29.00	12,06	1,15%	+1,60%
Total		1.033,16	98,86%	+32,46%

As exportações de chapas serradas somaram cerca de 14,9 milhões m² equivalentes (2 cm de espessura) em 2005, evoluindo para 17,0 milhões m² em 2006. Considerando-se que houve demanda estimada em 38,5 milhões m², dessas chapas serradas, para o mercado interno, refere-se que o processamento total de chapas, em teares e talha-blocos, tenha atingido 55,5 milhões m² em 2006.

As exportações capixabas de rochas ornamentais somaram US\$ 679,90 milhões em 2006 (Fig. 8), correspondentes à comercialização de 1.466.365,39 t. O Espírito Santo continua assim liderando as exportações setoriais, respondendo por 65,1% do faturamento e 56,6% do volume físico do total brasileiro. Destaca-se ainda que as rochas processadas, representadas sobretudo por chapas polidas de granito, compuseram 83,10% do total do faturamento das exportações capixabas.

**Fig. 8 - Evolução do Faturamento das Exportações Capixabas de Rochas Ornamentais**



Os EUA continuam sendo, por sua vez, o principal país de destino das exportações brasileiras do setor de rochas (Fig. 9). Em 2006, essas exportações para os EUA somaram US\$ 631,77 milhões e 824.174,66 t, o que representou, respectivamente, 60,4% do faturamento e 31,8% do volume físico das exportações brasileiras. Também muito importante, refere-se que 99,83% do faturamento e 99,62% do volume físico das exportações brasileiras de rochas para os EUA são de rochas processadas, com maior valor agregado.

Destaca-se que o crescimento recente das exportações assegurou sobrevivência de todos os segmentos de atividade da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais no Brasil, compensando um prolongado período de desaquecimento da demanda do mercado interno. Indicadores fornecidos pelo Banco Mundial sugerem que a cada novo US\$ bilhão exportado, seriam gerados 50-70 mil empregos diretos. Estima-se assim que o incremento das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2006 (US\$ 251,1 milhões) deve ter proporcionado a geração de 12.500 a 17.500 postos de trabalho (15.000 postos pela média das duas estimativas). Acredita-se que isto tenha realmente ocorrido, pois o setor de rochas é caracterizado pela aplicação intensiva de mão-de-obra.

Quase todos os principais produtos comerciais do setor de rochas tiveram expressivo aumento de preço médio nas exportações em 2006, destacando-se aqueles de pedra-sabão da posição 6802.29.00 (+35,88%) e de rochas carbonáticas das posições 6802.21.00 e 6802.91.00 (+46,99% e +55,10%). Numa situação inversa, tiveram forte desvalorização do preço médio os blocos e chapas brutas de pedra-sabão e de rochas carbonáticas, respectivamente nas posições 2526.10.00 (-33,48%) e 2515.12.10 (-36,63%). Na posição 2526.10.00 (pedra-sabão) registrou-se, por outro lado, o mais expressivo incremento em volume físico exportado (+167,64%) dentre todos os produtos do setor de rochas com alguma significação econômica.

O aumento do preço médio dos produtos setoriais continuou refletindo uma demanda ainda aquecida do mercado internacional e o aumento de participação de produtos acabados, com maior valor agregado, nas exportações. O principal fator de aumento de preços, acredita-se,

está de fato vinculado aos reajustes praticados pelos exportadores, para fazer frente à contínua desvalorização do US\$ dólar.

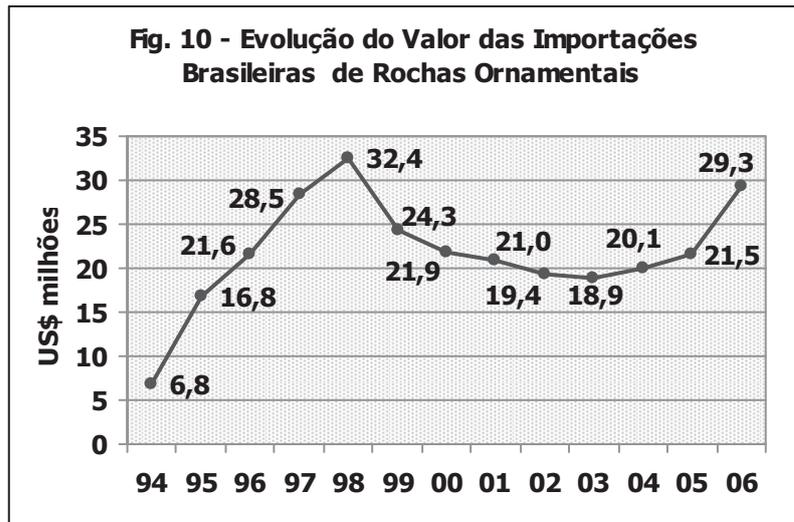
A expressiva diminuição das margens de lucratividade, resultante da questão cambial, fez com que se reduzisse o número de empresas exportadoras em 2005/2006. Mesmo com a valorização dos produtos comerciais do setor de rochas no mercado internacional, em 2005 e 2006, os preços médios continuam inferiores aos praticados na década de 1990, o que é ilustrado pelas chapas beneficiadas de granito das posições 6802.23.00 e 6802.93.90 (Quadro 9).

A participação das exportações de rochas ornamentais, no total do faturamento das exportações brasileiras, que evoluiu de 0,48% em 2001 para 0,76% em 2006, deverá no entanto recuar em 2007. Da mesma forma, como se tem observado desde 2002, a taxa de incremento das exportações brasileiras de rochas em 2006 (+32,30%) foi superior ao crescimento do total das exportações brasileiras (+16,20%), o que também não deverá ocorrer em 2007.

Quadro 9: Variação do Preço Médio das Exportações Brasileiras de Rochas pela Posição 6802.23.00 (inclui sobretudo chapas polidas de granito)				
Período	Valor Exportado (US\$ milhões)	Participação 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	344,37	57,3%	602	-0,2%
2005*	508,49	64,4%	680	+13,0%
2006*	688,30	65,9%	763	+12,2%
Variação do preço médio 2006/1999 ⇒ -7,2%. (*) ⇒ inclui as posições 6802.23.00 e 6802.93.90				

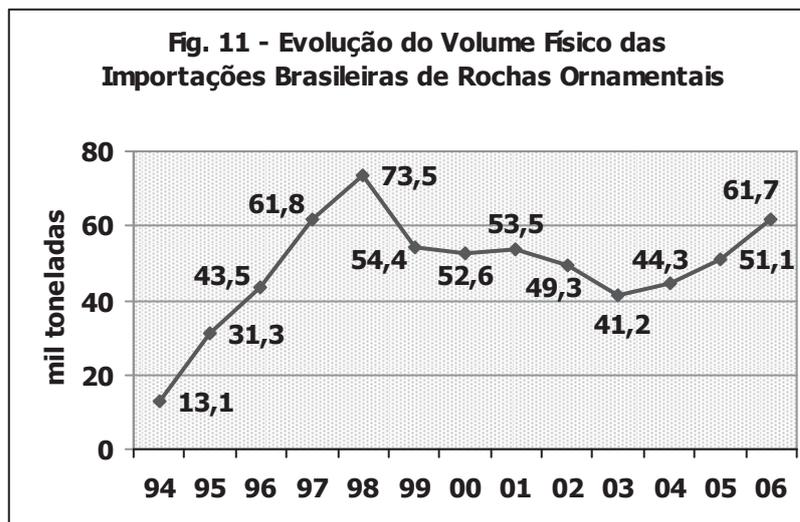
Importações Brasileiras em 2006

Como resultado da desvalorização do US\$ dólar e do aquecimento do mercado doméstico, a taxa de crescimento das importações brasileiras de rochas ornamentais superou a das exportações. Essas importações somaram US\$ 29,31 milhões e 61.744,57 toneladas em 2006, o que representou incremento de respectivamente 36,45% e 20,75% frente a 2005 (Fig. 10 e 11).



Se houve variação positiva do preço médio dos principais produtos brasileiros de exportação, observou-se, da mesma forma, valorização dos principais materiais importados. Destaca-se, por exemplo, os produtos das posições 6802.21.00 e 6802.91.00, relativos a rochas carbonáticas processadas, que representaram 73,11% do valor total importado e tiveram variação positiva de preço de respectivamente 25,28% e 19,34%.

Conforme referido em informes da ABIROCHAS, as importações de rochas de 2006 retomaram patamares compatíveis aos da segunda metade da década de 1990, por exemplo, de 1997, quando atingiram US\$ 28,5 milhões e 61,8 mil toneladas. Com a manutenção da atual base cambial, as importações de 2007 continuarão crescendo e deverão superar as de 1998, que somaram US\$ 32,4 milhões e 73,5 mil toneladas.

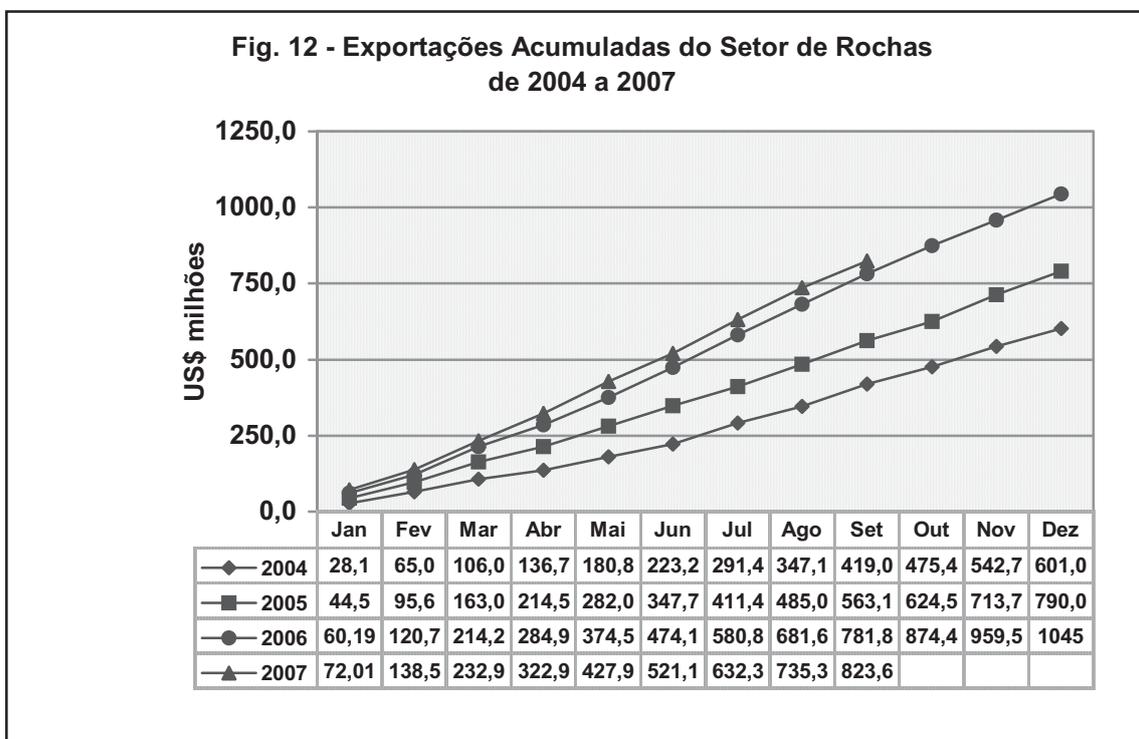


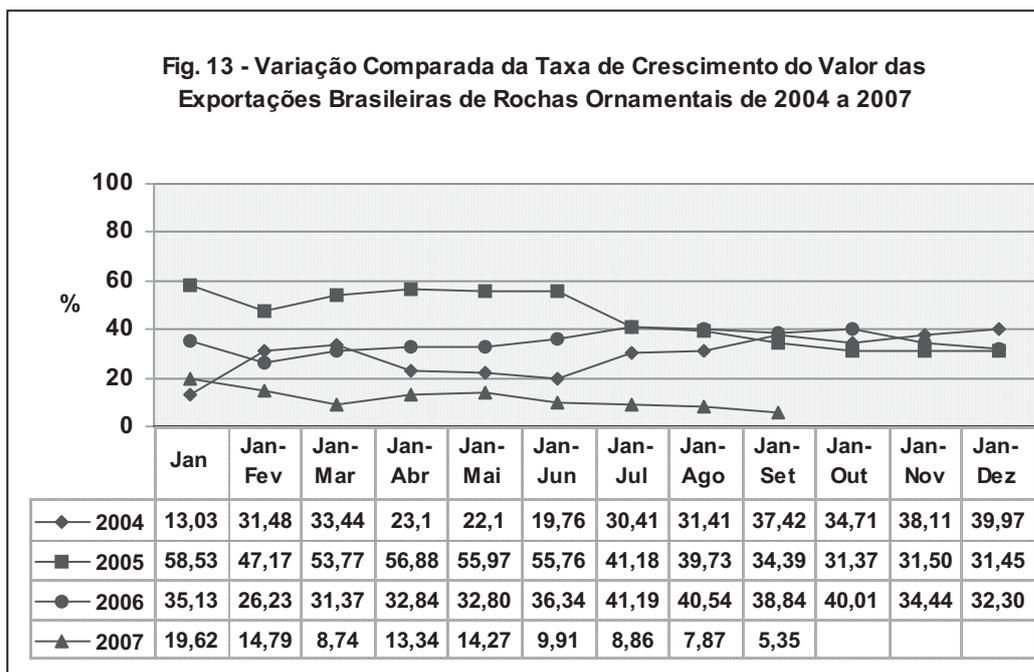
Em relação a esse atendimento do mercado interno brasileiro, atualmente muito importante para a comercialização de excedentes de produção não exportáveis, a Associação Nacional dos Comerciantes de Materiais de Construção – ANAMACO apontou crescimento de 5,5% em seu segmento de atividade no ano 2006, projetando crescimento entre 8 a 10% para 2007. Isto já seria consequência da ampliação da oferta de crédito, da desoneração de impostos para vários produtos da construção civil e da redução das taxas de juros para financiamento imobiliário, recentemente concedidos pelo Governo Federal. Ademais, o macrossetor da construção civil, cuja cadeia produtiva responde por 15% do PIB brasileiro, foi definido como pilar de sustentação para o desenvolvimento econômico e crescimento do PIB, no segundo mandato do Presidente Lula.

O mercado interno poderá assim transformar-se em um complemento real de comercialização, ao mercado externo, para os fornecedores brasileiros de rochas ornamentais. Esta possibilidade dependerá, no entanto, de uma melhor articulação da estrutura de oferta das empresas e de marketing das rochas brasileiras, que sofrerão maior concorrência dos materiais importados.

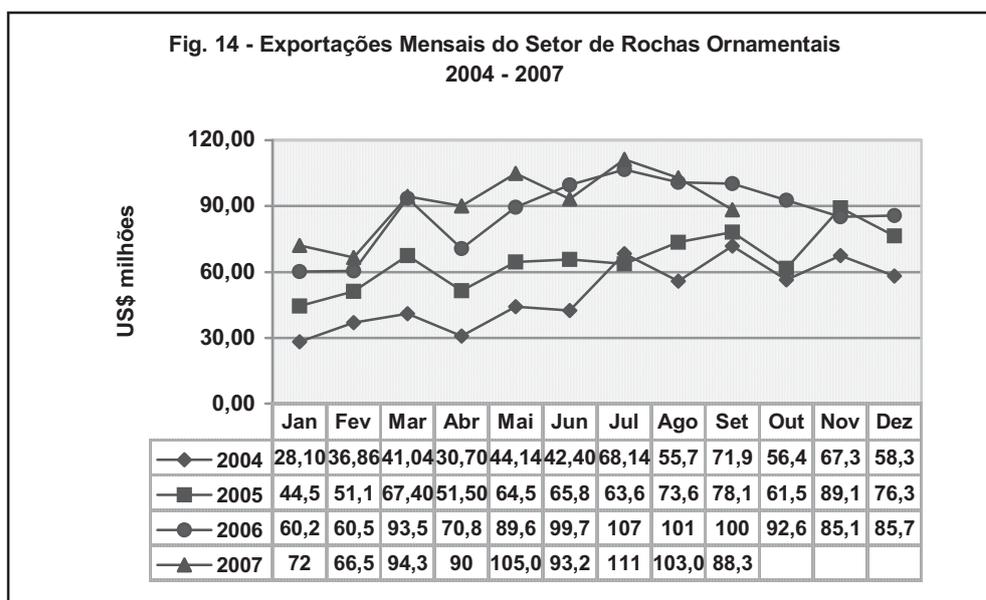
Balanco de 2007– Janeiro a Setembro

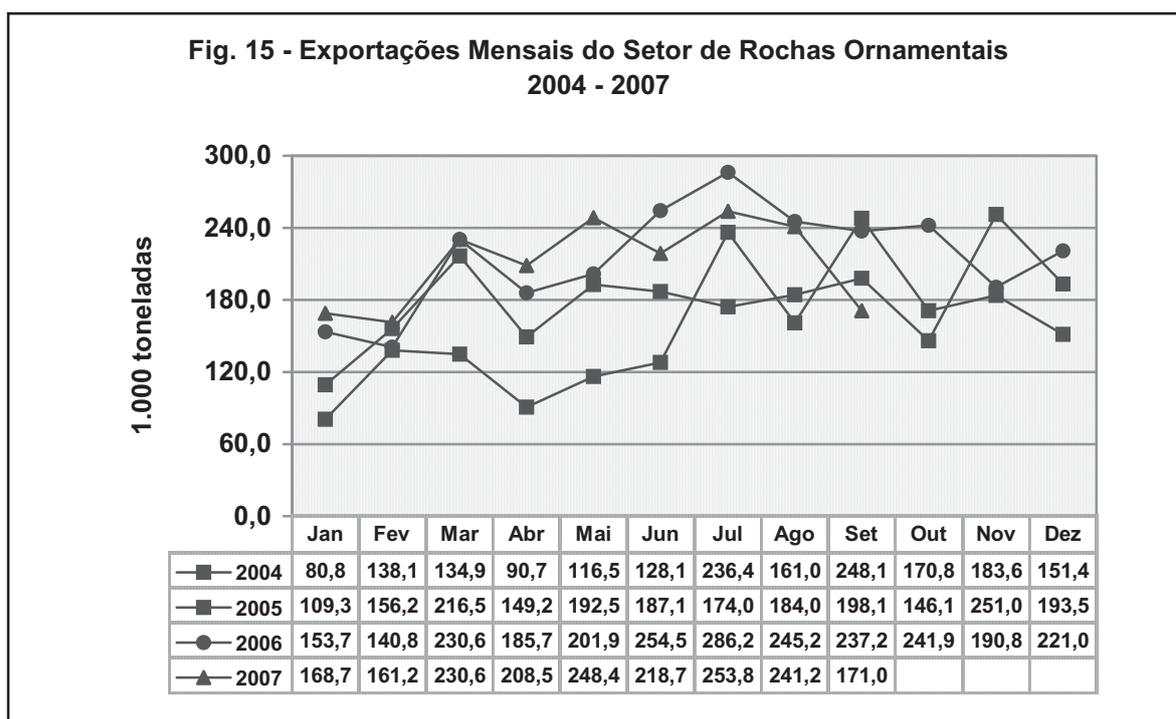
No período de janeiro a setembro de 2007, as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 823,57 milhões, referentes à comercialização de 1.901.960,05 toneladas em produtos diversos (Fig. 12). Frente ao período de janeiro a setembro de 2006, registrou-se variação positiva de 5,35% no faturamento e variação já negativa de 1,75% no volume físico dessas exportações (Fig. 13).





As exportações efetuadas especificamente em setembro (US\$ 88,3 milhões e 171,0 mil t) situaram-se em um dos patamares mensais menos elevados do ano de 2007 (Fig. 14 e 15). Esses valores estão bastante aquém da nossa capacidade de exportação, que se estima em US\$ 130 milhões/mês (82% de rochas processadas e 18% de rochas brutas) e 290-300 mil t/mês (48% de rochas brutas e 52% de rochas processadas).





Os principais produtos exportados continuam abrangendo chapas polidas de granito, blocos e chapas brutas de granito, lajotas e telhas de ardósia, lajotas de quartzitos foliados (materiais do tipo pedra São Tomé) e peças de pedra-sabão (fornos, lareiras, etc.). As variações mais expressivas de faturamento foram registradas para produtos de ardósia, quartzitos foliados e pedra-sabão, menos dependentes do mercado dos EUA.

Aumentou assim a participação desses produtos de ardósia, quartzitos foliados e pedra-sabão no total do faturamento das exportações brasileiras de rochas. Estima-se que ao final de 2007 esses produtos atinjam uma participação de respectivamente 9%, 4% e 2%.

As taxas de crescimento das importações brasileiras de rochas ornamentais, por sua vez, tanto em valor quanto em peso, continuam superiores às das exportações. No período de janeiro a setembro de 2007, essas importações somaram US\$ 30,23 milhões e 56.669,21 t, o que representou incremento de respectivamente 42,0% e 23,45% frente ao mesmo período de 2006. As chapas polidas de mármore e outras rochas carbonáticas (travertinos, limestones, ônix) representaram 73,6% do volume físico dessas importações. Os principais países de origem são Espanha, Itália e Grécia, com participação mais restrita da Turquia, China, Egito e outros.

Destaca-se que as exportações brasileiras de rochas ornamentais continuam enfrentando condições adversas em 2007. Essas condições estão ligadas tanto à crise do mercado imobiliário residencial dos EUA, quanto à valorização do Real frente ao US Dólar, que respectivamente fizeram recuar as vendas e reduzir fortemente a rentabilidade dos produtos comerciais exportados, prejudicando a saúde financeira e a competitividade das empresas brasileiras.

Na 1ª quinzena de outubro de 2007, as cotações do US Dólar atingiram patamares até inferiores a R\$ 1,80, os mais baixos desde meados do ano 2000. Se cerca de 3-4 anos atrás os exportadores brasileiros recebiam R\$ 3,50 por US Dólar exportado, chega-se a uma perda de receita de 49% nos mesmos produtos hoje comercializados a R\$1,80/US Dólar. O prejuízo não fica restrito a essa perda de receita cambial, pois a ela devem ser acrescidos os aumentos dos custos de produção em reais, correspondentes às taxas acumuladas de inflação, que somam cerca de 85% no período 2000-2007.

A resultante dessas perdas é muito superior aos reajustes de preço conquistados pelos exportadores a partir de 2005. Por exemplo, para chapas polidas de granito, que compõem 65% do faturamento das exportações brasileiras de rochas, o reajuste foi de 33,7%, passando-se de um preço médio de US\$ 602/tonelada, em 2004, para cerca de US\$ 805/tonelada em 2007.

Assumindo-se a equivalência da taxa cambial de outubro/2007 à de agosto/2000 (R\$ 1,80/US Dólar), e também como forma de ilustrar a perda de lucratividade das exportações no setor de rochas, aponta-se que o preço médio das chapas de granito foi de R\$ 1.300/tonelada (US\$ 722/tonelada) em 2000 e de R\$ 1.450/tonelada (US\$ 805/tonelada) em 2007. O reajuste do preço médio de venda dessas chapas, em Real, foi assim de 11,5% no período de 2000 a 2007, contra uma inflação acumulada (leia-se aumento dos custos de produção) dos acima referidos 85% nesse mesmo período.

Apesar dessas dificuldades e das sinalizações do Governo Federal, continuam sem atendimento os pleitos para agilização do repasse dos créditos do ICMS devidos aos exportadores. Também a despeito de manifestações do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, segundo o qual o câmbio tem impulsionado as importações de máquinas e equipamentos, permitindo a modernização das empresas, o setor continua enfrentando enormes dificuldades para obter a concessão de ex-tarifários de seu interesse. Em ambos os casos, o discurso está muito distante da realidade, pois na prática o setor de rochas continua perdendo competitividade no mercado internacional.

Especificamente sobre o comportamento do mercado imobiliário dos EUA e suas implicações, destaca-se que o início de construção de moradias (casas novas) recuou 10,2% em setembro de 2007, para uma taxa anualizada de 1,191 milhão de unidades, que é a menor dos últimos 14 anos. Da mesma forma, a emissão de alvarás para novas construções caiu 7,3% em setembro, chegando a um patamar anualizado de 1,226 milhão e também configurando a maior queda desde janeiro de 1995. Segundo manifestações de analistas econômicos e autoridades federais, inclusive da Secretaria do Tesouro e do FED, a crise do mercado imobiliário continua a se aprofundar e representa o mais sério problema da economia dos EUA, devendo persistir até, pelo menos, meados de 2008.

Nestes termos, o ano de 2007 deverá representar uma fase de transição e mudanças para o setor de rochas. Essa transição relaciona-se à passagem de um período de excepcional aquecimento da demanda mundial, vigente entre 2002 e 2006 e fundamentalmente ligado a China e EUA, para um período menos exuberante nos próximos cinco anos, quando sem dúvida será mais acirrada a competição no mercado internacional.

PERSPECTIVAS E METAS DAS EXPORTAÇÕES PARA 2010

A partir da evolução recente do mercado internacional e da atual participação brasileira nesse mercado, pode-se projetar que nossas exportações de rochas ornamentais ultrapassem US\$ 1,5 bilhão em 2010 (Quadro 9). Com esse desempenho, deverão ser gerados de 20 a 30 mil novos empregos diretos no período de 2007 a 2010.

Quadro 9: Projeção das Exportações Brasileiras do Setor de Rochas - 2007 a 2010

Período	Exportação (US\$ 1000)	Varição
2006	1.045	+32,3%
2007	1.097	+5%
2008	1.207	+10%
2009	1.328	+10%
2010	1.527	+15%

No conjunto das perspectivas e metas projetadas para 2010, pode-se destacar as seguintes:

- Manter o nível das exportações de chapas polidas de granito para os EUA;
- Ampliar as exportações de produtos de ardósia e rochas processadas simples, sobretudo quartzitos foliados do tipo pedra São Tomé, para os EUA;
- Ampliar a participação de produtos acabados de granito, sobretudo tampos, lajotas e mosaicos, para os EUA;
- Agregar a prestação de serviços nas transações comerciais com os EUA;
- Ampliar o volume de exportação de chapas e produtos acabados de granito, bem como dos produtos de ardósia e quartzitos foliados, para os países da zona do euro, destacando-se Alemanha, França, Holanda, Bélgica, Espanha, além do Reino Unido;
- Monitorar o crescimento da demanda e criar bases para atendimento dos países do centro e leste europeu;
- Enfocar o atendimento e fornecimento de grandes obras para os países do Golfo Pérsico, destacando-se Arábia Saudita, Kuwait e Emirados Árabes Unidos, inclusive através de parcerias com empresas fornecedoras estrangeiras (sobretudo turcas e italianas);
- Ampliar as exportações de rochas processadas semi-acabadas, principalmente chapas de granito, para o continente asiático, destacando-se Japão, Coreia do Sul, China Continental e Taiwan;
- Divulgar dos produtos brasileiros nos denominados “mercados imobiliários emergentes” da Europa, Ásia e América do Sul, para os quais se projeta crescimento mais acentuado da construção civil e valorização diferenciada dos imóveis residenciais e comerciais.

Destacam-se, neste caso, alguns países do centro e leste europeu, sobretudo Rússia, Polônia, Hungria e República Tcheca, além da própria América do Sul (Argentina, Chile, Venezuela e Colômbia) e Sudeste Asiático. Refere-se, a propósito, que o Brasil é considerado pelos investidores internacionais como “mercado imobiliário emergente”;

- Promover comercialmente os denominados “materiais exóticos”, que abrangem granitos pegmatóides e pegmatitos, granitos infiltrados (oxidados), quartzitos coloridos, rochas de derivação vulcânica, jaspes, cherts, silexites, conglomerados, brechas sedimentares e tectônicas, além de itabiritos e xistos diversos. Tais materiais foram recentemente introduzidos pelo Brasil no mercado internacional, com grande aceitação e valorização comercial. Destaca-se que esses materiais exóticos ocorrem principalmente em regiões com baixo IDH, permitindo ampliação da base exportadora e fortalecimento de arranjos produtivos locais nas regiões nordeste, norte e centro-oeste;
- Aumentar a participação de ardósias, quartzitos maciços e foliados, limestones e mármore, entre as rochas exportadas;
- Melhorar a distribuição das exportações por países de destino, pois as vendas brasileiras estão hoje fortemente concentradas no mercado dos EUA.

No perfil das exportações projetadas para 2010, considera-se desejável a seguinte composição do faturamento:

- 15% para os produtos de ardósia;
- 10% para as rochas processadas simples, destacando-se quartzitos foliados;
- 10% para produtos acabados e semi-acabados, sobretudo em chapas, de pedra-sabão, mármore e travertinos;
- 15% para blocos de granitos, mármore, pedra-sabão e quartzitos maciços;
- 30% para chapas polidas de granitos e quartzitos maciços; e,
- 20% para rochas processadas especiais, em produtos acabados de granitos e quartzitos maciços.

CONCLUSÕES

É interessante observar que, segundo estimativas da ABIROCHAS, a participação do mercado externo, no total da produção brasileira de rochas ornamentais, teria evoluído de 25% em 2000 para os referidos 43% em 2006, ao mesmo tempo em que a do mercado interno recuou de 75% para 57%. Em números absolutos, esta tendência significa que a produção de rochas para o mercado interno evoluiu apenas de 3,94 milhões de toneladas no ano de 2000 para cerca de 4,26 milhões de toneladas em 2006 (variação positiva de 8%), enquanto a do mercado externo evoluiu de 1,29 milhão de toneladas para 3,26 milhões no mesmo período (variação positiva de 152%).

Dois fatos importantes podem ser assim destacados: mesmo com a ligeira elevação de 2007, o mercado interno ainda enfrenta um quadro instável de evolução, compatível ao do macro setor da construção civil; e, pelo menos nos últimos cinco anos, os negócios da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais do Brasil foram cada vez mais direcionados para o mercado externo e tornaram-se, portanto, muito dependentes das exportações. Tal situação

traduz certa vulnerabilidade, pois ao contrário de alguns outros setores exportadores, o mercado interno de rochas ornamentais não permitiria contrabalançar eventuais flutuações do mercado externo, por exemplo, absorvendo produtos de valor agregado ou excedentes de produção não exportáveis.

Nas condições atuais, os empresários brasileiros do setor de rochas enfrentam um ambiente regra geral desfavorável, de competitividade, nos mercados interno e externo. No mercado interno, exceção feita a alguns empreendimentos de alto luxo, demanda-se mais preço do que qualidade, o que prejudica a colocação dos materiais naturais (rochas) frente a produtos industrializados mais baratos (sobretudo cerâmica). No mercado externo, pelo grande dependência dos EUA, cujo setor imobiliário está em crise, bem como pela continuada valorização do Real, que impôs forte retração nas margens de lucratividade aos exportadores, ficou prejudicada nossa posição competitiva frente a China, Índia e Itália.

Também em relação ao mercado interno, as iniciativas de fomento do consumo de rochas não têm sido capazes de superar as baixas taxas de crescimento da economia e o conseqüente desaquecimento da construção civil. São muito elevadas as taxas de juros e ainda insuficiente a oferta de crédito, ou seja, para efeito de linhas de financiamento imobiliário, sobretudo habitacional, o dinheiro disponível é muito caro e escasso. As duas principais grandes frentes de demanda concentram-se atualmente no mercado imobiliário residencial e corporativo de alto padrão, em São Paulo, e nos empreendimentos turístico-hoteleiros do litoral da Região Nordeste.

O principal trabalho de fomento, ainda tímido e restrito a poucos estados da Federação, refere-se à qualificação dos fornecedores da construção civil, dentro do PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat. Seria importante que essa qualificação, afeta às marmorarias, fosse mais difundida e exigida pelos SINDUSCONs, como forma de credenciamento dos fornecedores junto às construtoras e destas junto aos agentes do Sistema Financeiro da Habitação.

O consumo interno poderia ser incrementado, em primeiro lugar, ampliando-se a oferta e o acesso ao crédito, com diminuição das taxas de juros, como base de incentivo para aquisição de imóveis residenciais e comerciais. Em segundo lugar, seria muito oportuno disciplinar a atuação dos integrantes da estrutura de oferta, representados pelas marmorarias, depósitos de chapas e serrarias que, de maneira geral, praticam uma concorrência não cooperativa e particularmente danosa em um quadro recessivo de demanda. Tal adequação poderia ser encaminhada através do credenciamento de marmorarias como agentes de venda das serrarias no mercado interno, em um modelo de relacionamento similar àquele mantido entre as montadoras de veículos e suas concessionárias.

Outra proposta interessante seria a comercialização de lajotas padronizadas na rede de vendas dos produtos cerâmicos, cuja logística de distribuição é atualmente melhor estruturada que a de rochas. Em termos mais técnicos, considera-se importante o entendimento das características físico-mecânicas das rochas ornamentais e de revestimento, como base para a sua adequada qualificação e especificação, bem como um maior conhecimento dos sistemas de aplicação, visando minimizar as patologias relacionadas a argamassas de fixação e rejuntamento. Soma-se a este último aspecto a necessidade de estudos sobre o uso de produtos protetores de chapas para revestimento, como as resinas de polimento, os hidro-óleo-repelentes, as ceras, os produtos limpantes e tira-manchas, os antiderrapantes e os

impermeabilizantes em geral. Tudo isto, porém, traduzido em uma linguagem acessível para consumidores, especificadores e formadores de opinião.

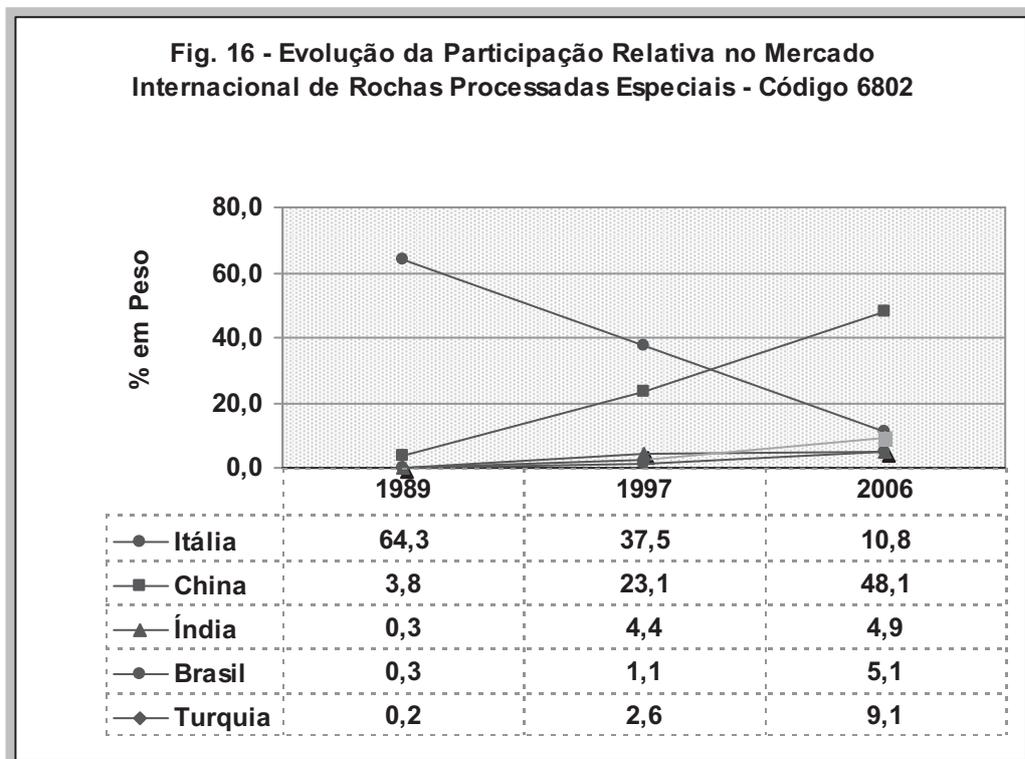
Frente ao mercado externo, reitera-se que, para 2008, não deverá ocorrer no Brasil qualquer mudança substantiva das taxas de juros (que permanecerão elevadas) e do câmbio (que continuará valorizado), inibindo os investimentos, dificultando as exportações e incentivando as importações. Para o setor de rochas ornamentais, tais condicionantes internas se somam à retração do mercado imobiliário residencial dos EUA e a uma possível desaceleração do crescimento da economia mundial. Espera-se que o brado governamental "Exportar ou Morrer", colocado como desafio em 2001 e atendido pelos empresários, não se transforme em um possível "Exportar e Morrer".

A taxa de variação do faturamento das exportações brasileiras de rochas em 2008 deverá ser similar à de 2007 e inferior à de 2006, com crescimento não superior a 5-10% no faturamento e variação negativa no volume físico a exportar. As condicionantes de desempenho, para as exportações de rochas em 2008, tanto quanto para 2007, envolvem assim diversos fatores, destacando-se:

- A evolução da taxa cambial no Brasil, pela manutenção ou não do Real sobrevalorizado;
- O comportamento do mercado imobiliário residencial e não residencial dos EUA;
- O acirramento da concorrência de outros fornecedores, sobretudo a China, no mercado dos EUA;
- A renovação do SGP concedido pelos EUA ao Brasil, inclusive e principalmente das chamadas "*waivers*";
- A perspectiva de contaminação do mercado europeu, como efeito da desaceleração da economia dos EUA e do próprio mercado imobiliário desse país;
- O comportamento dos denominados mercados imobiliários emergentes, relacionados sobretudo aos países do centro e leste europeu;
- A perspectiva de uma maior participação de rochas processadas "made in Brazil" no mercado asiático, atualmente controlado pela China;
- A obtenção de mecanismos efetivos de garantia contra a inadimplência nas exportações;
- As limitações impostas pelas reconhecidas deficiências logísticas brasileiras, sobretudo portuárias (espera-se que não ocorra "overbooking" de rochas nos containeres e navios disponíveis para o transporte marítimo, nos portos da região sudeste);
- A renovação de ex-tarifários para importação de máquinas e equipamentos de interesse setorial;
- A diminuição dos juros e expansão do crédito para a aquisição de máquinas e modernização do parque industrial, visando à ampliação de sua capacidade instalada; e,
- A perspectiva de agregação tecnológica para máquinas de acabamento, visando ao fortalecimento do Programa Marmoraria Exportadora.

Conclui-se referindo que as atividades de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimento, como de resto de toda a mineração, estão se transferindo para países emergentes de dimensão continental, com recursos minerais abundantes e condições

favoráveis para a sua exploração. No setor de rochas ornamentais, tal é o caso do Brasil, China, Índia e Turquia, que estão se sobrepondo aos tradicionais "players" europeus no mercado internacional (Fig. 16).



FONTES DE CONSULTA

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações e Importações de Rochas Ornamentais em 2006. São Paulo: ABIROCHAS, 2007. 20p. (Informe n. 01/2007)

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações e Importações de Rochas Ornamentais no Período de Janeiro a Setembro 2007. São Paulo: ABIROCHAS, 2007. 5p. (Informe n. 30/2007)

CHIODI FILHO, C. Brazil's Importance in the International Dimension Stone Market. 2007. 7p. (inédito)

CETEM/ABIROCHAS. Rochas Ornamentais no Século XXI; Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/ ABIROCHAS, 2001. 160p.

MDIC. Base ALICE. <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>

CAPÍTULO 3

APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO PROCESSO INDUSTRIAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA ARQUITETURA

Renato José Avilla Paldés¹

RESUMO

O trabalho contém elementos que propõem uma visão mais apurada para o aproveitamento dos chamados rejeitos do processo industrial das rochas ornamentais. Nele, não foram computadas as perdas inerentes à extração de blocos, mas sim focado o processo industrial de serragem e corte dos granitos nas indústrias. Ainda que pequenas, as ações de aproveitamento, tentem a minimizar a grande quantidade de resíduos sólidos oriundos do esquadreamento de blocos e da serragem das chapas e ladrilhos.

Criar maneiras de um aproveitamento mais racional de quase todo o bloco de granito é fornecer aos industriais melhores condições de comercializar, melhorando o aproveitamento, reduzindo custos e também diminuindo os resíduos sólidos. Além de permitir aos especificadores e arquitetos novas formas de utilização das rochas ditas ornamentais e convidá-los à reflexão de criação de outras novas formas de uso.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é oriundo de experiências do profissional que milita há mais de 25 anos em Cachoeiro de Itapemirim (ES). Uma cidade que além de possui a maior reserva de mármore, atualmente, possui o maior parque industrial do país, cerca de 600 empresas, o que corresponde a mais de 60% das empresas instalados no Espírito Santo, e aproximadamente 800 teares, gerando 12.000 empregos diretos na região sul do estado (Rede Rochas, 2004).

O setor de rochas do Espírito Santo é o maior pólo brasileiro do segmento, é o principal produtor, e o maior processador e exportador de rochas ornamentais do Brasil. É responsável por cerca de metade da produção e das exportações. Concentra mais da metade do parque industrial brasileiro do setor, tanto em número de teares e empresas, quanto em termos de crescimento.

O gigantismo desta indústria chama tanta atenção, quanto o desperdício que o seu processo industrial gera. Anualmente milhares de toneladas de rejeitos não têm aplicação formal - principalmente na arquitetura - e são considerados cacos ou lixo industrial. Tal desperdício levou ao presente estudo, visando quantificar o real volume de perdas e possíveis aplicações para tais sobras.

¹ Arquiteto e Urbanista. Administrador FACACI-ES, E-mail: arquiteto@renatopaldes.org.br

Ultrapassar os vícios do processo continua sendo ainda a maior dificuldade, pois é necessário mudar a mentalidade do empresário e de seus empregados, que precisam ter novo manuseio e cuidado nos novos procedimentos. O próprio retorno financeiro na venda destes antigos dejetos permitirá a criação desta nova cultura.

PRODUÇÃO LOCAL

O Espírito Santo é o principal produtor e o maior processador e exportador de rochas ornamentais do País. É responsável por 47% da produção e 44% das exportações. Concentra mais da metade do parque industrial brasileiro do setor, tanto em número de teares e empresas, quanto em termos de crescimento. Representado por cerca de 1,2 mil empresas, o estado é o principal produtor e o maior processador e exportador de rochas ornamentais do Brasil.

Em 2005, exportou 1,1 milhão de toneladas do produto. Nos últimos cinco anos, as exportações capixabas apresentaram um crescimento de 300%. Um outro destaque foi o recorde nas exportações em 2004, quando 71% das rochas exportadas acabadas brasileiras saíram do Espírito Santo.

Cachoeiro de Itapemirim, principal local da coleta de dados, apresenta área geográfica de 892 km² e com uma população estimada em 203.000 habitantes, o município funciona como pólo de desenvolvimento local, abrangendo mais nove municípios, da microrregião de Cachoeiro de Itapemirim. É também o principal núcleo de desenvolvimento possuindo 850 empresas, aproximadamente 60,5% das empresas do estado.

A evolução do número de teares é impressionante, sendo estimado para 2007, a existência de cerca de 1300 unidades em todo o estado. Para conhecer e quantificar o processo de beneficiamento verificou-se que no início dos anos 80, um tear serrava quatro blocos por mês, sendo que hoje serra entre oito e dez unidades.

Este estudo considerou o número de oito serradas/mês como o mais representativo.

SERRAGEM

Um bloco médio é retirado das pedreiras com as dimensões brutas de 2,90m x 1,80m x 1,80m, correspondendo a cerca de 54 chapas, após ser serrado. Devido ao processo de extração, estas dimensões brutas não possuem esquadro nem prumo, sendo então o bloco, um elemento irregular (Figura 01, Figura 04).

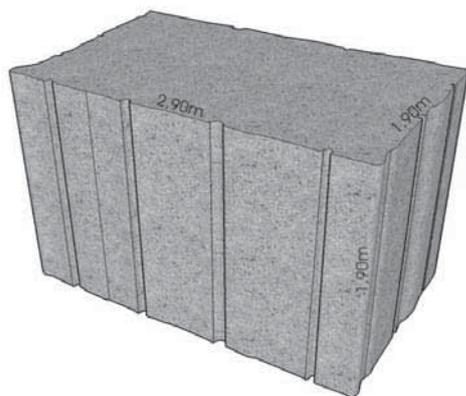


Figura 01 – Blocos sem esquadro ou prumo.

O processo extrativo é o responsável pela qualidade das dimensões do bloco, e ao inverso da lógica, o que hoje mais se vê são blocos com tamanhos que aumentam a perda do material, retirados em pequenas pedreiras, sem o mínimo cuidado necessário. Nelas, as perdas são enormes, mas este estudo somente visualiza o processo industrial de serragem, após a extração na pedreira.

Com isso, no processo de corte dos blocos nos teares, esta falta de prumo ou esquadro resulta em blocos com laterais deformadas, resultando numa primeira perda, estimada em 0,05m de cada lado, chamado pela indústria de "Casqueiro". (figura 02)

O "Casqueiro" corresponde a grandes chapas lisas de um lado e irregulares e com as marcas dos martelos de outro, com tamanhos aproximados de 2,90m x 1,80m x 0,05m – sendo esta espessura variável e de acordo com a qualidade da extração do bloco – podendo chegar até 0,10m.

Este estudo considerou a espessura média dos "casqueiros" em 0,03m, sendo assim desperdiçados – por bloco – cerca de 0,30 m³.

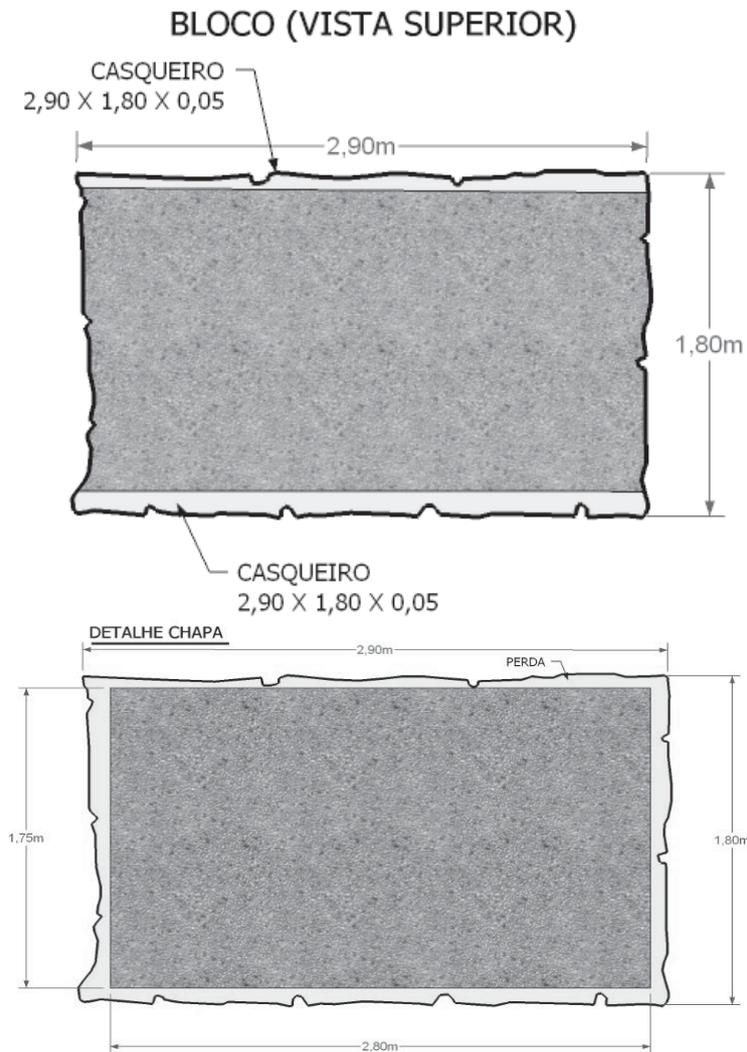


Figura 02 – "Casqueiros" – sobras laterais dos blocos.

No processo de serragem, além dos "casqueiros", o bloco estudado produz cerca de 54 chapas de 2,90m x 1,80m x 0,02m, com área útil de cerca de 2,80m x 1,75m, novamente geradas pelo processo extrativo e dada a grande irregularidade dos blocos. (Figura 03)

Figura 03 – Chapa: Área útil, sempre medidas em suas menores dimensões.

As pedreiras ainda produzem o que a indústria chama de "interas" que são pequenos blocos – de dimensões diversas – de materiais de alta qualidade ou – eventualmente, do tipo de material explorado, que compensem essa extração. Estas pe-

ças têm desperdício ainda maior devido suas dimensões mais reduzidas. Na foto, estas peças estão marcadas pelas setas. (Figura 04)



Foto 04 – Blocos e “interas” - tamanhos diversos. (foto do autor)



Foto 05 – Detalhe dos “casqueiros” das “interas”. (f. autor)

Portanto, as serradas que envolvem blocos e “interas” resultam em um número maior de “casqueiros” (Foto 05), resultando e maiores perdas.

Ainda devido à falta de esquadro, as chapas produzidas de um bloco convencional, perdem também nas laterais, algo em torno de 0,10m (somados os dois lados, estimando-se cerca de 0,05m para cada lado). Com isso, chega-se a perda estimada de cerca de 0,47m² por chapa.

$$[(2,90\text{m} \times 0,10) + (1,80\text{m} \times 0,10\text{m})] = 0,47 \text{ M}^2.$$

Como a produção média de um bloco nas dimensões especificadas é de cerca de 54 chapas por bloco, o desperdício na serragem é de $25,38 \text{ m}^2/\text{bloco}$ ($0,47\text{m}^2 \times 55 = 25,38 \text{ m}^2$), excluindo-se aí a perda com os “casqueiros”.

O estudo considerou que uma indústria serra em média 08 blocos/mês/tear, e então a perda por tear é de $203,04\text{m}^2$ ($25,38 \times 08$).

Sabendo-se ainda que o mercado possui atualmente cerca de 1300 teares - estima-se a perda mensal esteja na ordem de 263.952m^2 ($1300 \times 203,04\text{m}^2$). Em um ano a perda atinge $3.167.424,952 \text{ m}^2/\text{ano}$ ($263.952\text{m}^2 \times 12$), correspondendo a $190.045.440 \text{ kg}$ ou algo em torno de 190 toneladas/mês de desperdício.

Ressalte-se que estes números não incluem os “casqueiros” – perda de $0,30 \text{ m}^3/\text{bloco}$ – e perda total de 3.120 m^3 ($10.400 \times 0,30\text{m}^3$).

Importante ressaltar que o material desperdiçado gera frete da pedreira para a indústria – pago em tonelada - e onera o preço final da chapa ou ladrilho. Estima-se que uma indústria de grande porte perca aproximadamente U\$ 24.000,00/ mês carregando os ditos resíduos que não são aproveitados.

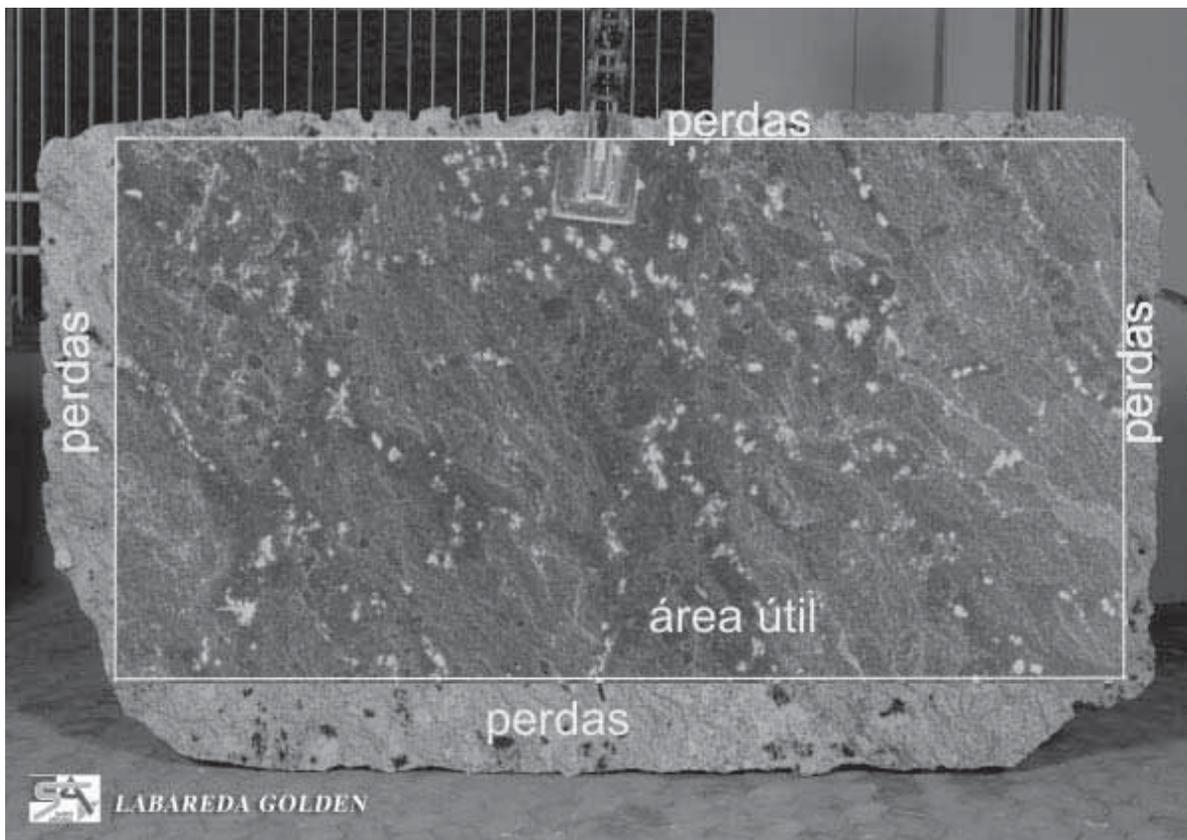


Foto 07 – Chapa- perdas oriundas do processo. (f. autor)

AS PERDAS, OS REJEITOS

As montanhas de resíduos que se avolumam nas indústrias, nas enormes quantidades já quantificadas, causam grande impacto ambiental e as possibilidades de podem trazer ao setor, no mínimo:

1. Redução dos custos;
2. Redução do impacto ambiental;
3. Consciência do desperdício.



Foto 08 – Perdas: lixo?
(foto do autor).



Foto 09 – Tiras resultantes do esquadrejamento (foto: autor).

No processo de corte, o operador ao recortar peças ou ladrilhos, quebra as tiras resultantes do esquadrejamento (figura 09), para colocar em um carrinho que as levará para o lixo. A única aplicação conhecida anteriormente era para lastro (tipo ensaibramento) de vias públicas sem calçamento, muito utilizada na cidade.

Ao desenvolver o presente trabalho, foi solicitado aos operadores de serra que armazenassem as tiras empilhadas – no próprio carrinho – evitando sempre que possível, a quebra do material.



Foto 10 – Tiras quebradas do esquadrejamento f. autor).



Foto 11 – Tiras inteiras do esquadrejamento (f. autor).

Assim sendo, o material resultante do corte passaria a ter possibilidade de fabricação de filetes e detalhes, permitindo assim novas utilizações para o antigo lixo.

UTILIZAÇÃO DOS REJEITOS

Uma das primeiras aplicações foi na utilização de painéis decorativos, mantendo-se o lado reto para trás e deixando a superfície irregular para frente, tirando partido da irregularidade, diferença de texturas – dada à utilização de materiais diferentes – e do jogo de sombras.

Os “casqueiros” possuem lugar de honra também, já que pela sua robustez, permitem a execução de paredes estruturais, arrimos, paredes dupla-face, etc.



Foto 12 – Painel externo Obra Karmak. 2005 (foto do autor).



Foto 13 – Painel interno. Obra Jaciguá. 2006 (foto do autor).



Foto 14 – Colunas em tiras, balcão em casqueiro assente com a face corrugada para o exterior. Obra Jaciguá. 2006 (foto do autor).



Foto 15 – Paredes dupla-face com blocos de casqueiro e colunas executadas em tiras. Obra R. Azevedo. Capa e matéria da Revista Pedras do Brasil. 2002 (reprodução).

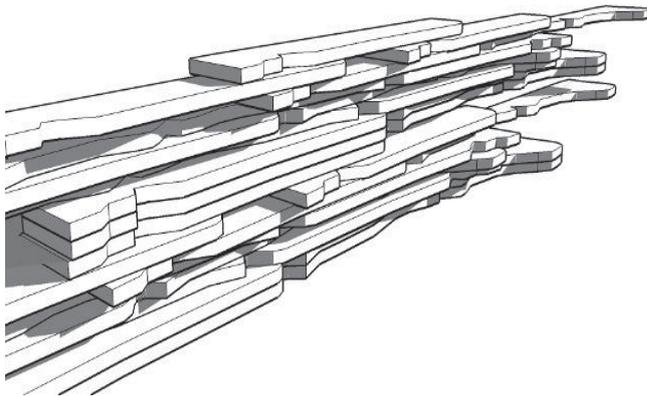


Figura 16 – Esquema assentamento das tiras.

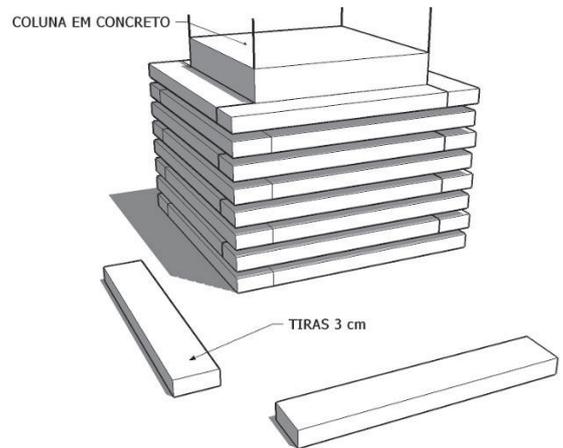


Figura 17 – Esquema das tiras em colunas.



Foto 18 – Arrimo com blocos de casqueiro, colunas em tiras e seixo rolado feito de sobras de mármore. Obra R. Azevedo. Capa e matéria da Revista Pedras do Brasil. 2002 (foto do César Romero).

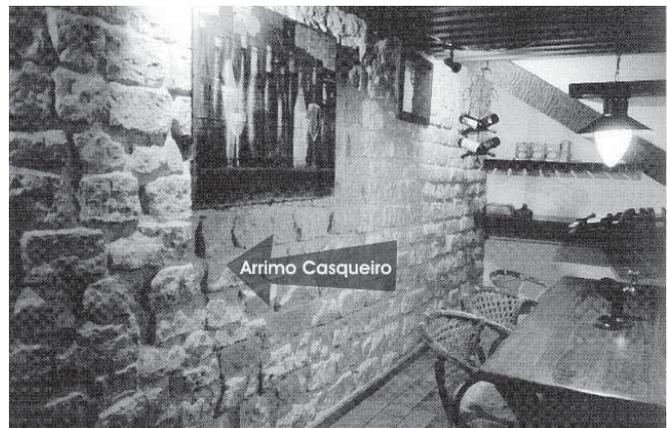


Foto 19 – Adegas. Arrimo com blocos de casqueiro. Obra R. Azevedo. Capa e matéria da Revista Pedras do Brasil. 2002 (foto do César Romero).



Foto 20 – Churrasqueira. Balcão com blocos de casqueiro. Obra R. Azevedo. Capa e matéria da Revista Pedras do Brasil. 2002 (foto: César Romero).



Foto 21 – Churrasqueira. Obra Jaciguá. 2006 (foto do autor).



Foto 22 – Bancada maciça escavada em casqueiro de grande espessura. Obra Karmak. 2005 (foto do autor).

As possibilidades de aplicação são ilimitadas. Diferentes cores e materiais podem – de acordo com a aplicação – ganhar novas feições e gerar novas descobertas. Dentre elas, a possibilidade de criar “seixos rolados” com resíduos do mármore, em tubulões rotatórios, água e abrasivo. Ecologicamente correto.



Foto 23 – Faixas decorativas executada com material de sobras. Obra Karmak. 2005 (foto do autor).



Foto 24 – Piso em cacos. Obra Jaciguá. 2006 (foto do autor).



Foto 25 – Ralo na porta, em tiras. Obra Jaciguá. 2006 (f. autor)

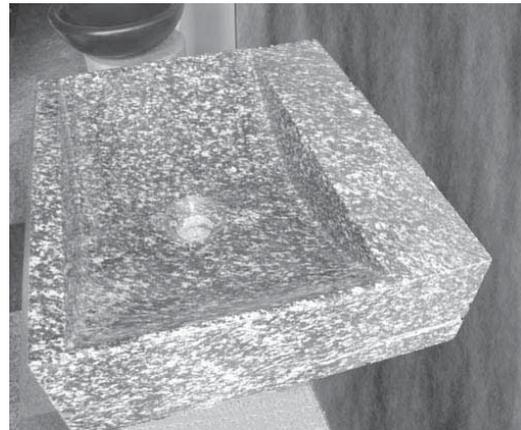


Foto 26 – Pia escavada casqueiro. Obra particular - 2007 (foto do autor)

CONCLUSÃO

Novos processos extrativos ditos de ponta – alguns já existentes – levarão anos para chegar às pedreiras, início da cadeia produtiva de rochas ornamentais. O processo extrativo é ainda – salvo exceções – completamente arcaico e extremamente rudimentar. E poucas empresas podem hoje usar de processos extrativos com maquinários de alta tecnologia. Na grande maioria dos casos, as pedreiras são de pequenos empresários que estão a anos de distância e capital para novas tecnologias.

Portanto, durante muito tempo ainda os blocos continuarão a ser extraídos da forma que são. Existe a preocupação no mercado que hoje, o industrial paga um frete (em toneladas) para o transporte pedra x indústria e o perde no processo industrial com cerca de 40% do bloco. Conseqüentemente há apreensão. Mas nada, ou pouco se tem feito para mudar o quadro.

Os números das perdas são faraônicos e trazem preocupação, já que se o aproveitamento fosse maior no mínimo reduziria o custo do material, aumentando a competitividade do mesmo. Uma perda anual de mais de 16 toneladas não pode ser desprezada. Isso, se desprezarmos a perda nas pedreiras. Quem já teve a oportunidade de visitar uma, espanta-se com o volume do prejuízo.

Algumas das soluções apresentadas partem hoje de custo perto de zero, já que estes resíduos são lixos e o empresário agradece quando alguém pede e paga frete para “limpar” sua empresa. Outras, já estão sendo armazenadas e vendidas (as tiras laterais das chapas) devido a sua procura para execução de painéis.

Este trabalho não pretende ser finalizado aqui. Ele pretende trazer apenas algumas soluções de aproveitamento, e quer e deve ser enriquecido por outros tantos profissionais, arquitetos, projetistas, geólogos especificadores, engenheiros de minas e tantos que pode contribuir com soluções de melhor aproveitamento do bloco extraído. O trabalho pretende buscar novas maneiras de utilização, que venham a somar no desenvolvimento sustentável do setor, qual seja, no aumento do emprego do produto, aumento da renda com conseqüente geração de emprego e a necessária preservação ambiental.

Desenvolvimento sustentável, segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas, é aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras satisfaçam as suas próprias necessidades.

E segundo A ONG WWF-Brasil, o desenvolvimento sustentável para ser alcançado, depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos. Esse conceito representou uma nova forma de desenvolvimento econômico, que leva em conta o meio ambiente.

Sabendo-se então, que os recursos naturais são finitos, aproveitá-los racionalmente é no mínimo, sensato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Governo do Estado Es -22/08/2008 – Rede De Comunicação.

Rederochas-Es.

Plano de Desenvolvimento do Apl de Rochas Ornamentais de Cachoeiro de Itapemirim.

Universidade Federal do Espírito Santo Departamento de Economia: Logística Reversa e Sustentabilidade: um estudo do setor de mármore e granito de Cachoeiro de Itapemirim. Vitória. 2006.

Marble Connection World - 22.08.2007

Portal Marble - [Www.Marble.Com.Br](http://www.marble.com.br).

WWF-BRASIL. www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/index.cfm

WIKIPÉDIA – Enciclopédia Livre

http://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento_sustent%C3%A1vel

OBRAS E FOTOS DO AUTOR: www.renatopaldes.arq.br. E-Mail: arquiteto@renatopaldes.arq.br

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO NORDESTE E SUDESTE ATRAVÉS DAS SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

*Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Regina Coeli Casseres Carrisso
& Tácito Walber G. Fernandes*

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, como 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 têm ocorrido com as rochas ornamentais, devido à falta de conhecimento das características naturais que o material possui, dos métodos de lavra e dos processos de beneficiamento que podem provocar alterações da rocha. Diante disso, inúmeros investimentos em edificações têm sido prejudicados quanto à utilização de rochas ornamentais. O conhecimento das propriedades físicas, físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como rochas ornamentais e de revestimento são fatores econômicos determinantes na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material. Conhecendo-se as condições ambientais às quais os revestimentos estarão sujeitos e efetuando-se uma análise das características tecnológicas dos materiais, pode-se reunir valiosos subsídios para a seleção daqueles que melhor se adequam aos ambientes pretendidos. As características tecnológicas das rochas, bem como a previsão do seu desempenho em ambientes, são obtidas através de análises e ensaios executados, segundo os procedimentos normalizados por entidades nacionais e internacionais. As análises e ensaios devem ser realizados logo na etapa de pesquisa mineral e nesta fase já se deve ter conhecimento das características do material e da aplicação para a qual os produtos obtidos serão utilizados para fins ornamentais e de revestimento. O presente trabalho apresenta um estudo de caracterização tecnológica comparativo entre os granitos ornamentais das Regiões Nordeste e Sudeste, com base nas principais propriedades: densidade, porosidade, absorção d' água, resistência à compressão e flexão, desgaste e impacto.

¹ Engenheiro de Minas, Ph.D. Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT.
E-mail: fholland@cetem.gov.br

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 mesas, 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 a realização destes ensaios, são padronizados por órgãos normatizadores, constando como itens obrigatórios para balizar os campos de aplicações destes materiais.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi a realização de um estudo de caracterização tecnológica comparativo, entre rochas ornamentais silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, onde foram pesquisados cerca de 100 (cem) diferentes tipos de granitos, de cada região. Os resultados obtidos da análise de ensaios das amostras de granitos das duas regiões foram tratados, divididos em classes, comparados com os valores estabelecidos pelas normas propostas pela ASTM C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT e, posteriormente, foi realizada uma avaliação comparativa dos índices de caracterização tecnológica alcançados das duas regiões, com base nas principais propriedades: densidade, porosidade, absorção d'água, resistência à compressão e flexão, e desgaste Amsler.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica das rochas para fins ornamentais e de revestimento 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 às exigências técnicas ligadas às grandes obras realizadas nos principais segmentos de mercados de produtos acabados de grandes nações, 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 a 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 deformidade 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, o qual 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, conseqüentemente, 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 direcionadas 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	≥100,00
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.

A seguir demonstramos os resultados da análise comparativa dos ensaios realizados com amostras de rocha silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste, através de suas Características Tecnológicas, conforme valores limites estabelecidos pela ASTM e Frazão & Farjallat.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise comparativa para massa específica aparente seca

As Figuras 1A e 1B mostram respectivamente, a distribuição dos resultados de massa específica aparente seca obtidos com as rochas silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste.

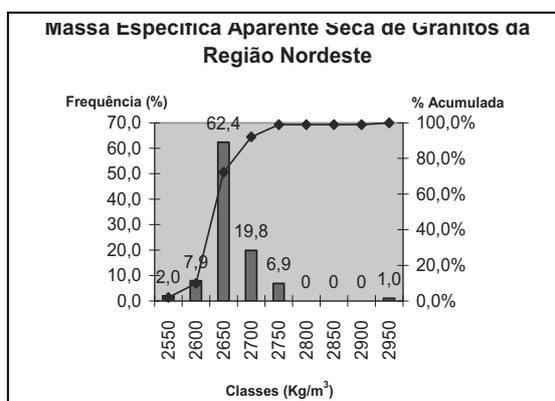


Figura 1a: Distribuição dos resultados de massa específica aparente seca obtidos com as rochas silicáticas da Região Nordeste.

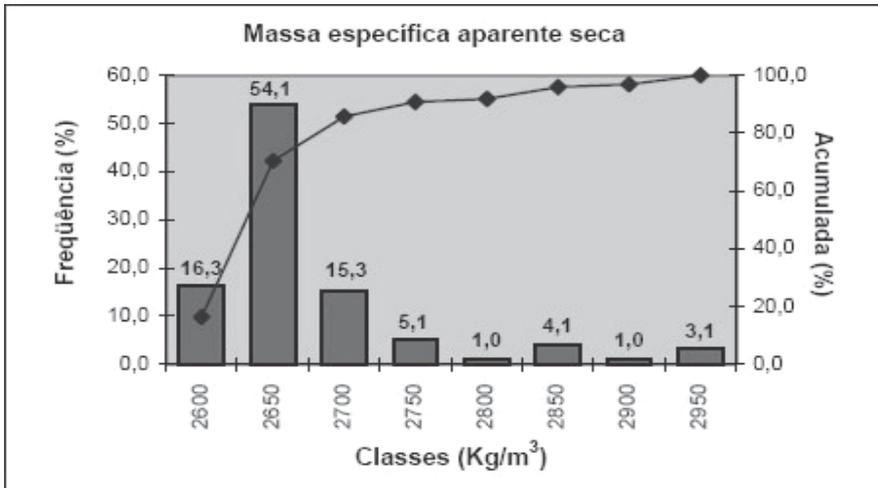


Figura 1b: Distribuição dos resultados de massa específica aparente seca com as rochas silicáticas da Região Sudeste

Com base nas figuras 1A e 1B, concluímos que 100% das rochas silicáticas pesquisadas e avaliadas no Nordeste e Sudeste atendem perfeitamente à especificação estabelecida na Norma ASTM C-615, para este teste, com valores acima do mínimo estabelecido de 2560 kg/m³. De acordo com os dados analisados, observa-se que as rochas silicáticas do NE apresentaram resultados de massa específica variando no intervalo de 2550 a 2950 kg/m³, com frequência de concentração maior em 2660 kg/m³, e as do SE variando entre 2600 a 2950 kg/m³, com frequência de concentração maior entre 2600 e 2700 kg/m³. Cerca de 62% das amostras de rochas silicáticas estudadas do NE e 55% das amostras do SE estão situadas na classe de 2650 kg/m³.

Análise comparativa para porosidade aparente

As Figuras 2A e 2B mostram respectivamente, a distribuição dos resultados de porosidade aparente obtidos com as rochas silicáticas (granito) das Regiões Nordeste e Sudeste.

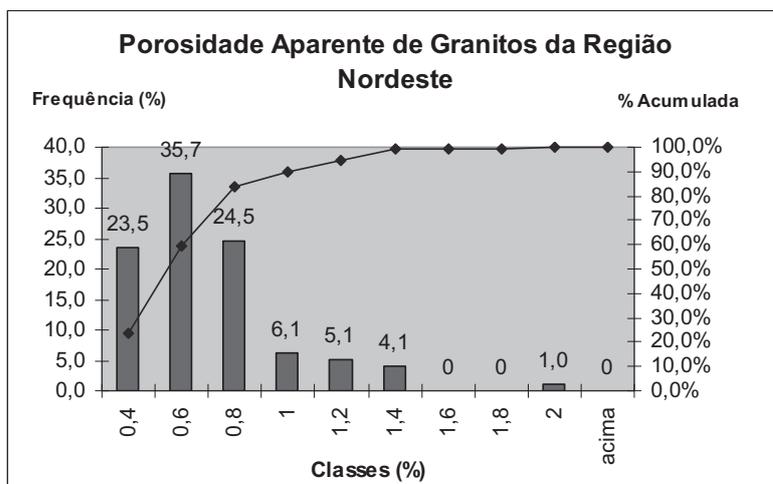


Figura 2a: Distribuição dos resultados de Porosidade Aparente obtidos com as Rochas silicáticas da Região Nordeste.

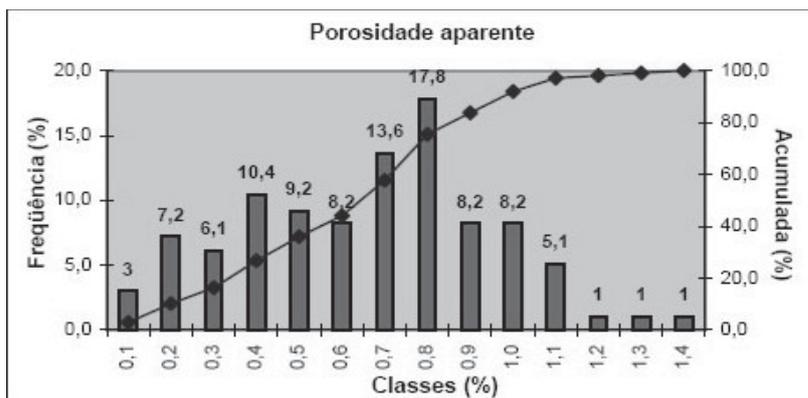


Figura 2b: Distribuição dos resultados de Porosidade Aparente obtidos com as Rochas silicáticas da Região Sudeste.

Com base nas figuras 2A e 2B, cerca de 90% das amostras analisadas tanto do Nordeste como do Sudeste, obtiveram valores abaixo do limite de 1% para este tipo de teste, ou seja, dentro da especificação proposta pelos autores FRAZÃO & FARJALLAT para esta propriedade.

Análise comparativa para absorção d'água

As Figuras 3A e 3B mostram respectivamente, a distribuição dos resultados de absorção d'água obtidos com as rochas silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste.

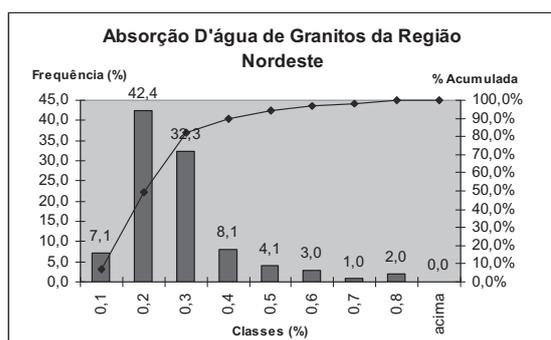


Figura 3a: Distribuição dos Resultados de Absorção D'água obtidos com as Rochas Silicáticas da Região Nordeste.

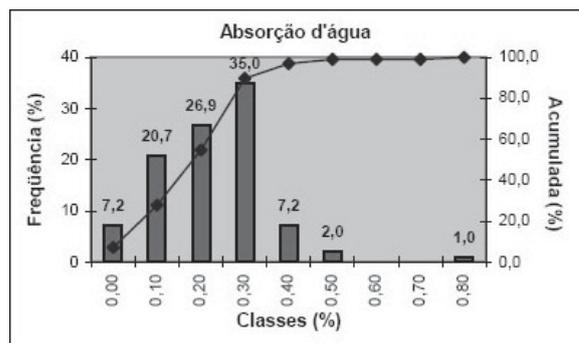


Figura 3b: Distribuição dos Resultados de Absorção d'água obtidos com as Rochas Silicáticas da Região Sudeste.

Com base nas figuras 3A e 3B, concluímos que as rochas silicáticas estudadas no Nordeste apresentaram resultados de absorção d'água variando entre 0,1 e 0,8%, com cerca de 75% das amostras estudadas situadas no intervalo de 0,2 e 0,3%, e as do Sudeste apresentaram resultados de absorção d'água também variando entre 0,1 e 0,8%, com 87% das amostras estudadas situadas no intervalo de 0,1 e 0,4%. Conforme a norma ASTM C-615 que estabelece que os granitos a serem utilizados como rocha ornamental e de revestimento devem alcançar índices de absorção d'água abaixo de 0,4%, concluímos que a maioria dos granitos do Nordeste, mais de 90% e cerca de 90% dos granitos do Sudeste, atendem a norma, apresentando boa durabilidade e considerável resistência mecânica a longo prazo.

Análise comparativa para resistência à compressão uniaxial

As Figuras 4A e 4B mostram respectivamente, a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial obtidos com as rochas silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste.

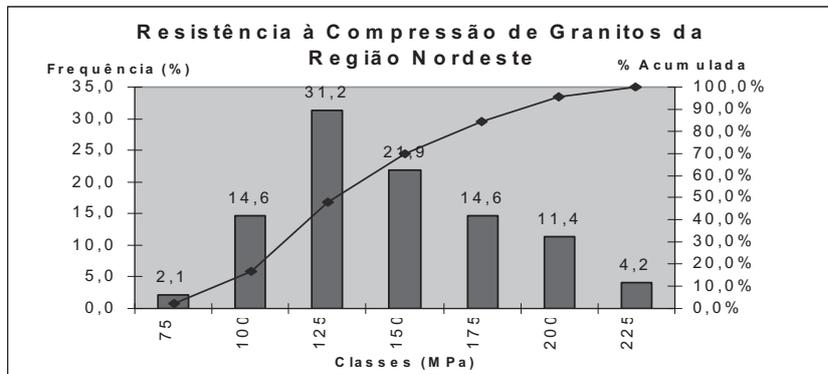


Figura 4a: Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial obtidos com as Rochas silicáticas da Região Nordeste.

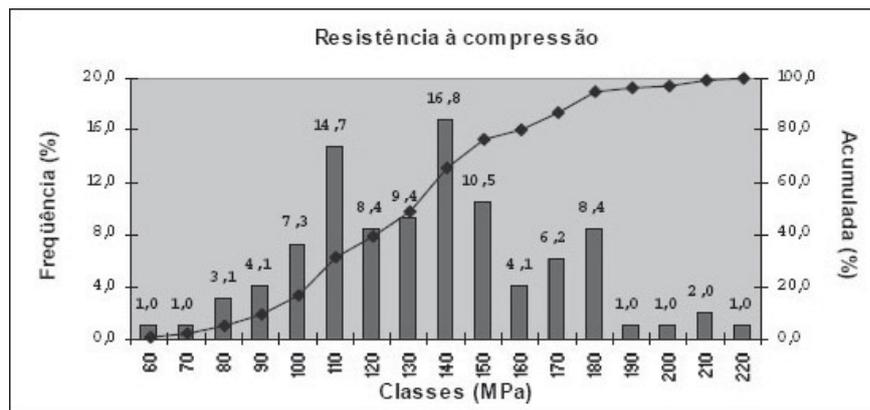


Figura 4b: Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial obtidos com as Rochas silicáticas da Região Sudeste.

Para esta propriedade, segundo FRAZÃO & FARJALLAT (1995), o valor mínimo aceitável para utilização como rocha ornamental e de revestimento é de 100MPa, enquanto que para a ASTM C-615 é de 131 MPa. Com base nas figuras 4A e 4B, a resistência à compressão uniaxial das rochas silicáticas do Nordeste estão mais concentradas no intervalo de 100 a 175, com cerca de 82% das amostras analisadas, e as do Sudeste estão concentradas entre 100 a 180Mpa, com cerca de 85% das amostras analisadas. Para este ensaio, a maior parte das rochas de ambas as regiões melhor atendem ao limite proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995). É importante ressaltar que esta 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.

Análise comparativa para resistência à flexão

As Figuras 5A e 5B mostram a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) obtidos com as rochas silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste.

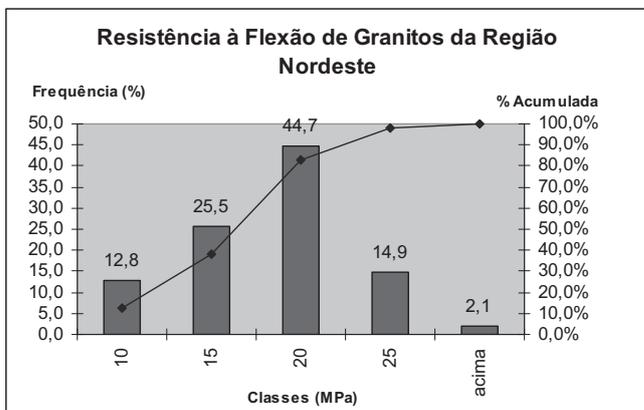


Figura 5a: Distribuição dos resultados dos ensaios de Resistência à Flexão obtidos com as Rochas Silicáticas da Região Nordeste.

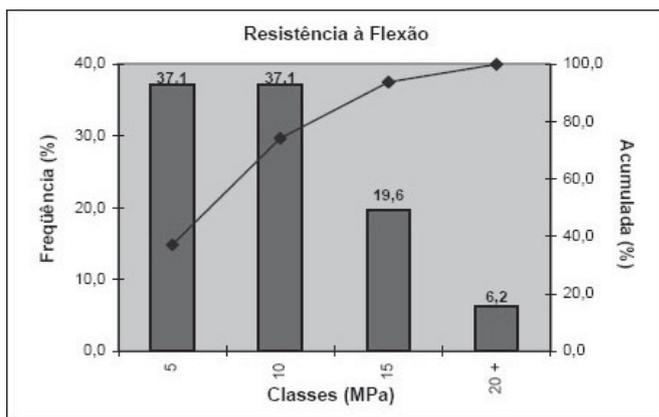


Figura 5b: Distribuição dos resultados dos ensaios de Resistência à Flexão obtidos com as Rochas Silicáticas da Região Sudeste.

Com base na figuras 5A e 5B, concluímos que as rochas silicáticas estudadas no Nordeste para a resistência a flexão no intervalo de classe de 10 a 15 MPa variam com freqüência entre 13 e 25% e no intervalo de 15 a 20 MPa registraram freqüência de 70%. Em relação a região Sudeste, pode-se observar que a maioria dos valores obtidos situaram-se entre 5 a 20 MPa , com cerca de 60% das amostras acima do valor mínimo estabelecido. Sabendo que os valores padrões para aceitação deste teste estabelecidos pela Norma ASTM C-615, como por FRAZÃO & FARJALLAT é de no mínimo, 10,0 MPa, verifica-se através dos testes analisados, que as rochas do Sudeste e principalmente do Nordeste podem ser consideradas como sendo de boa qualidade, sob o ponto de vista de sua aplicação para revestimentos.

Análise comparativa para resistência ao desgaste amsler

As Figuras 6A e 6B mostram a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao desgaste Amsler obtidos com as rochas silicáticas das Regiões Nordeste e Sudeste.

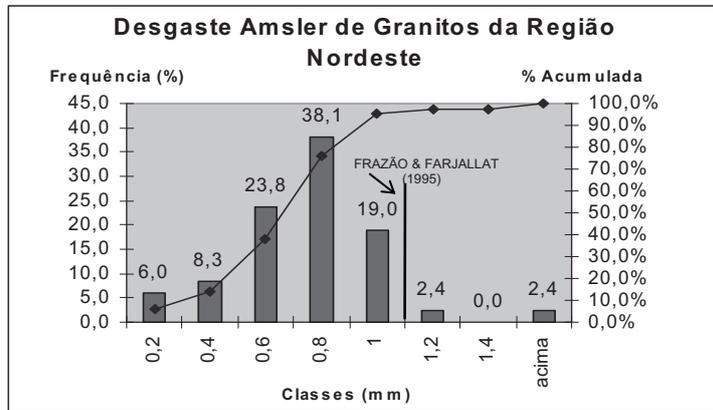


Figura 6a: Distribuição dos Resultados dos ensaios de Resistência ao Desgaste Amsler obtidos com as rochas silicáticas da Região Nordeste.

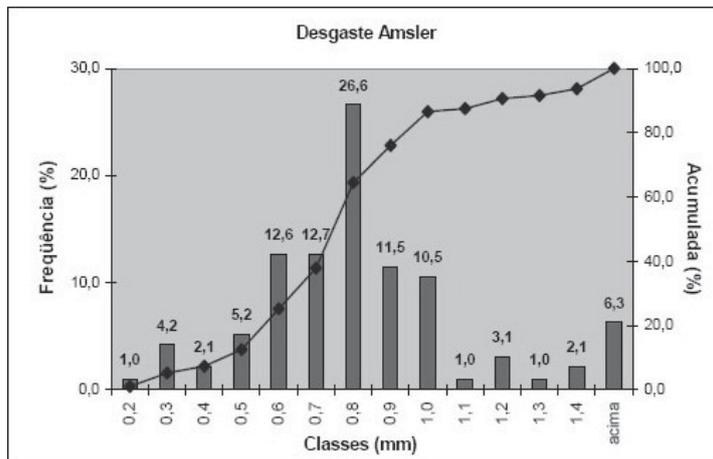


Figura 6b: Distribuição dos Resultados dos ensaios de Resistência ao Desgaste Amsler obtidos com as rochas silicáticas da Região Sudeste.

Com base nas figuras 6A e 6B, concluímos que a maior parte das rochas analisadas no Nordeste está com desgaste concentrado entre 0,6 e 0,8 mm, com cerca de 62% de frequência. Com base nos estudos analisados na região Sudeste, observa-se que cerca de 74% das rochas estudadas apresentam um desgaste variando entre 0,5 e 1,0 mm. A Norma ASTM C-615 não especifica limites para este teste, porém, FRAZÃO & FARJALLAT sugere valor máximo de 1,0 mm. Com base neste padrão concluímos que cerca de 86% das rochas analisadas na Região Sudeste, bem como cerca de 95% das analisadas no Nordeste, atendem ao limite de aceitação deste teste, com bons índices de resistência ao desgaste, ficando suas aplicações recomendadas em áreas de alto tráfego.

CONCLUSÕES

Com base nos valores fixados pelas norma ASTM – C-615 e sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) verifica-se que a grande maioria das rochas silicáticas estudadas, das regiões Nordeste e Sudeste atendem aos valores limites de aceitação estabelecidos, para suas aplicações como rocha ornamental e de revestimento. O estudo comparativo das duas regiões encontra-se nos resultados e discussões do trabalho completo.

BIBLIOGRAFIA

- 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. 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 de 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, 30p.
- 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.

CAPÍTULO 5

ROCHAS SEDIMENTARES COM FINS ORNAMENTAIS: OS EXEMPLOS DOS CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO LA TAMPA (COLÔMBIA) E DO ARENITO “PIETRA SERENA” DA FORMAÇÃO MARNOSO-ARENÁCEA (ITÁLIA)

Javier Eduardo Becerra Becerra¹, Antônio Gilberto Costa & Roberto Bruno

INTRODUÇÃO

As rochas sedimentares com fins ornamentais têm sido utilizadas desde tempos remotos na construção das grandes obras de arquitetura, hoje patrimônio da humanidade. Desde as pirâmides de Egito, passando pelas igrejas, conventos e fortalezas construídas durante o período colonial pelos portugueses no nordeste brasileiro até o uso recente em prédios urbanos, arenitos e calcários seguem sendo materiais importantes na construção civil ao redor do mundo. Como exemplos típicos, temos o arenito conhecido com o nome de “Pietra Serena” da Formação Marnoso-Arenácea (Itália), importante na construção de importantes prédios históricos antigos da cidade de Florença, e ainda utilizados nos projetos recentes da região da Toscana e os calcários da Formação La Tampa utilizados no revestimento interno e externo de prédios vanguardistas da construção civil da República da Colômbia, especialmente na cidade de Medellín.

Processos de deterioração têm sido observados nas construções onde estes materiais foram utilizados. O arenito conhecido comercialmente como Pietra Serena, extraído na região de Firenzuola (Toscana-Itália), corresponde a vários níveis areníticos da Formação Marnoso-Arenácea, sendo os mais importantes, o nível inferior de natureza calcarenítica e conhecido com o nome de Pietra Forte Colombino e o nível intermediário, chamado Pietra Masso Grosso, correspondente a um arcósio com importante conteúdo de fragmentos líticos. As diferenças em composição mineralógica e textura incidem diretamente na resposta face os processos de deterioração observados em alguns monumentos históricos da cidade de Florença.

No caso dos calcários colombianos da Formação La Tampa, a deterioração da rocha está relacionada ao grau de alteração dos componentes carbonáticos originais, à presença de minerais terrígenos como quartzo, óxidos de ferro e minerais argilosos e à porosidade, que também é um fator determinante, considerando as condições do meio ambiente da cidade de Medellín.

¹ Geólogo, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geologia. - CPMT/IGC/UFMG. E-mail: javierbecerra2003@yahoo.com

Este trabalho pretende mostrar algumas observações sobre o uso e os processos de alteração ocorrentes nos monumentos históricos antigos da Cidade de Florença-Itália onde foi usado o arenito Pietra Serena e aqueles observados em prédios recentes onde foram usados os calcários da Formação La Tampa na cidade de Medellín-Colômbia. A pesquisa, ainda em andamento, insere-se no âmbito do Projeto Alfa-Faro (Formação Avançada em Rochas Ornamentais e Geoprocessamento), no qual participam o Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (Brasil) e o Departamento de Engenharia Química, Mineral e Ambiental (DICMA) da Universidade de Bologna (Itália).

O ARENITO DENOMINADO PIETRA SERENA E A SUA IMPORTÂNCIA NA ARQUITETURA ITALIANA

A pietra serena, arcósio com matriz arenítica, é considerada um importante recurso econômico dos Apeninos centrais da República Italiana. Contribui ao desenvolvimento industrial da região por meio da atividade de cerca de cinquenta empresas artesanais e outras de grande porte, todas com boa capacidade de produção e beneficiamento, graças ao investimento em desenvolvimento tecnológico no processo extrativo e nos processos de transformação. A introdução de novas tecnologias tem permitido agregar valor aos produtos acabados, os quais são muito importantes na construção civil e nos processos de restauração de prédios históricos, especialmente nas cidades históricas da Itália central como Florença, Siena, Arezzo, Grosseto e Gênova (Bargossi *et.al.*, 2002).

A difusão do uso da pietra serena como material de construção e de ornamento arquitetônico, data do século XV, quando Filippo Brunelleschi (1377-1446), importante arquiteto e escultor italiano, usou este material para a construção de algumas das suas obras mais importantes. A facilidade de lapidação que apresenta este material, junto com a possibilidade de empregá-lo junto com outros materiais, permitiu ao artista a elaboração de grandes colunas, como as existentes no Hospital dos Inocentes do Santo Espírito de San Lorenzo, na cidade de Florença (Fig. 1). Outros prédios históricos de reconhecida importância usaram a Pietra Serena como material base, dentre dos quais se destacam o Palácio Grozzi (Fig. 1), o Palácio Corsini e muitos outros característicos da arquitetura florentina (Bargossi *et.al.*, 2002).



Figura 1. Exemplos da utilização do arenito “Pietra Serena” na arquitetura da Cidade de Florença. Hospital dos Santos Inocentes (esquerda); Palazzo Grozzi (direita).

O arenito denominado Pietra Serena corresponde à uma série de camadas de arenito de seqüência turbidítica. Nos processos de beneficiamento e transformação são importantes dois níveis areníticos conhecidos com os nomes de Pietra Forte Colombino e Pietra Masso Grosso, os quais apresentam entre eles diferenças texturais e composicionais que incidem diretamente na susceptibilidade aos processos de alteração quando utilizados expostos à intempérie.

O arenito Pietra Forte Colombino é um calcarenito, constituído por quartzo 15,1; plagioclásio 4,4; K-feldspato 1,6; vulcânicos ácidos 1,8; vulcânicos básicos 0,7; filita 0,2; argilito 2,0; mica e clorita 3,3; Outros 0,7; intraclastos carbonáticos 62,2 ; cimento carbonático 7,8 (Bargossi *et al.* 2003). O grande conteúdo de minerais carbonáticos incide na alta susceptibilidade aos processos de degradação ocorrentes em ambientes urbanos poluídos como acontece na região da Toscana, especificamente na cidade de Florença.

Entretanto, a Pietra Masso Grosso está constituída por quartzo 35,3; plagioclásio 2,6; K-feldspato 17,4; vulcânicos ácidos 1,2; vulcânicos básicos 0,6; filita 6,5; mica e clorita 10,3; outros 1,5; extraclastos de carbonatos 13,5; cimento carbonático 10,9 (Fig. 2). A maciez e a facilidade de lapidação apresentada pela Pietra Masso Grosso devem-se a várias feições, entre as quais se destacam a sua matriz argilosa, o pequeno conteúdo de calcita como cimento e a estrutura interna, caracterizada por laminação paralela centimétrica. Porém, essas mesmas propriedades, junto com a alta porosidade do material, constituem ao mesmo tempo, fatores que facilitam os processos de deterioração. Nos períodos inverniais, quando a rocha absorve maior quantidade de água, também se apresentam os conhecidos ciclos de congelamento-degelo causadores dos processos alternados de contração e redução de volume, que com o tempo trazem como conseqüência o destacamento das camadas mais superficiais.

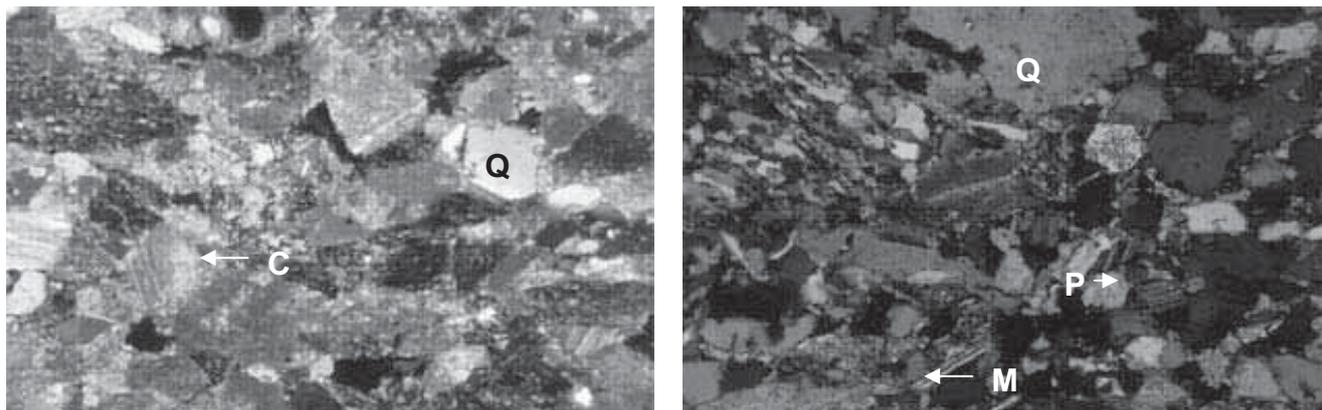


Figura 2: Aspecto em lâmina delgada das duas variedades de Pietra Serena: Pietra Forte Colombino (esquerda) e Pietra Masso Grosso (direita). (Q): quartzo; (C): carbonatos; (M): micas; (P): plagioclásio.

PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO NO ARENITO PIETRA SERENA

Vários processos de deterioração ou de alteração foram observados nos monumentos da Piazza Santíssima Annunciata onde se encontram entre outros, a Igreja de São Pancrácio (hoje Museu Marino Marini) e o Hospital dos Santos Inocentes. Entre estes foram relevantes os seguintes:

- Alteração cromática (ac): definida esta como uma variação da luminosidade, ou do brilho ou cor. É a mais comum das observadas na Pietra Serena.
- Esfoliação (es): degradação que se manifesta com um levantamento seguido por destacamento, de uma ou mais camadas superficiais finas, paralelas entre si, ditas folhas. Cada folha tem uma espessura uniforme, geralmente da ordem dos poucos milímetros. São constituídas quer por material aparentemente íntegro, quer por material alterado.
- Alveolização (av): degradação que se pode manifestar nos materiais com elevada porosidade, pela formação de alvéolos, frequentemente profundos e interligados, cujas paredes ficam recobertas por pó do próprio material, por eflorescências e/ou por colônias de microrganismos.
- Perda de coesão (pc): degradação nem sempre visível, que se manifesta por uma diminuição da coesão e da aderência entre os componentes estruturais, com aumento da porosidade e assinalável deterioração das características mecânicas originais. Em relação com os estados de progressão do processo, toma os nomes de “desagregação” e de “pulverização”.
- Desagregação (dg): estado avançado de perda de coesão, caracterizado pelo destacamento de grânulos ou de cristais à menor solitação mecânica; comportam uma sensível deterioração das características mecânicas originais e um notável aumento da porosidade.
- Formação de crostas negras (cn): freqüentes, especialmente nos capitéis das colunas elaboradas em Pietra Serena. Estas crostas são produto das transformações superficiais da

rocha, visivelmente distinguíveis das partes subjacentes pelas suas características morfológicas e, frequentemente, pela sua cor.

- Depósitos superficiais ou sujeiras (ds): acumulações de materiais estranhos de natureza diversa, tais como: poeiras, microrganismos etc. Têm espessuras variáveis, geralmente com escassa coesão e aderência ao material subjacente.
- Pátina biológica (pb): finíssima camada, homogênea, aderente à superfície da rocha e de natureza biológica evidente, de cor variável (muitas vezes verde), constituída, geralmente, por microrganismos, líquens pulverulentos ou algumas espécies de algas. Na escultura do leão em frente do Museu Marino Marini, aparecem em zonas específicas como depósitos particularmente homogêneos e finos, podendo ser considerado, neste caso, como uma pátina biológica.
- Lascagem (lg): separação da rocha em lascas com alguns centímetros de espessura, paralelas à superfície da rocha e devidas, sobretudo, à insolação e a fortes variações de temperatura.
- Fissuração (fs): degradação que se manifesta pela formação de soluções de continuidade nas rochas, curtas, finas, com desenvolvimento discreto, nunca abertas e nunca atingindo os limites dos corpos considerados.
- Fraturação (ft): degradação que se manifesta pela formação de soluções de continuidade nas rochas e pode implicar o afastamento recíproco das partes fraturadas. A superfície de rotura, divide o corpo considerado em partes distintas.
- Arenização (ar): desintegração da rocha em fragmentos arenosos e pulverulentos, de dimensões inferiores a 2mm que se manifesta pela queda espontânea de material sob a forma de pó ou grãos.

Os processos de esfoliação e alveolização são observados especialmente nos pisos externos e internos do Hospital dos Inocentes e do Museu Marino Marini. A espessura das folhas destacadas da rocha variam entre 2mm e 5mm, seguindo os planos da laminação plano-paralela característica da rocha (Fig. 3A). No museu Marino Marini os processos são variados, considerando o uso da Pietra Serena, tanto no exterior quanto no interior do prédio. Algumas colunas têm sido construídas usando o arenito Pietra Forte Colombino, apresentando processos de desagregação, esfoliação e perda de coesão (Fig. 3B), mas com menor intensidade em relação aos processos existentes nas colunas e esculturas elaboradas com o arenito Masso Grosso.

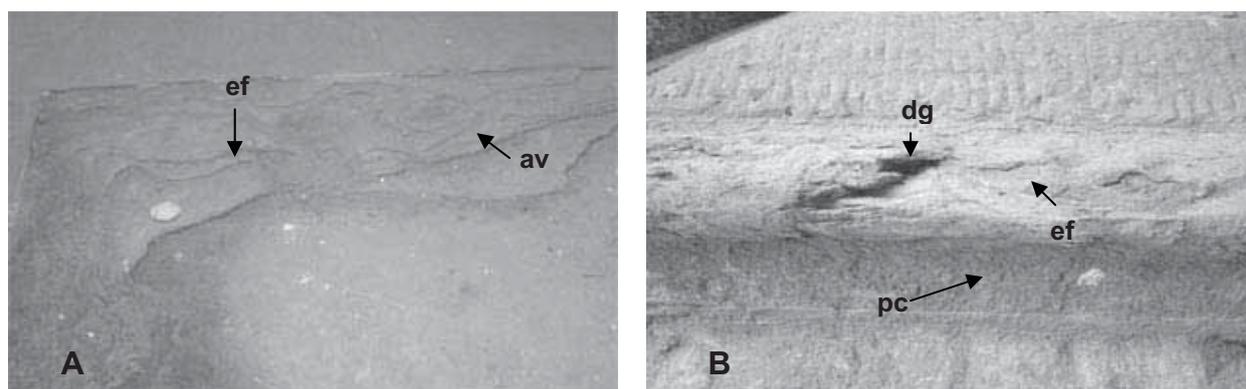


FIGURA 3. Processos de alveolização (av), esfoliação (es), perda de coesão (pc) e desagregação (dg) no arenito Pietra Serena no piso interno do Hospital dos Inocentes (A) e coluna exterior do Museu Marino Marini (B), Florença (Itália).

Os processos de deterioração apresentam maior intensidade nas colunas, capitéis e detalhes escultóricos localizados nos ambientes externos, onde estão expostos à poluição atmosférica. Assim, as crostas negras são freqüentes nos capitéis das colunas exteriores do Museu Marino Marini e o Hospital dos Inocentes. Também são observados processos de arenização, fraturação e alveolização (Fig. 4).

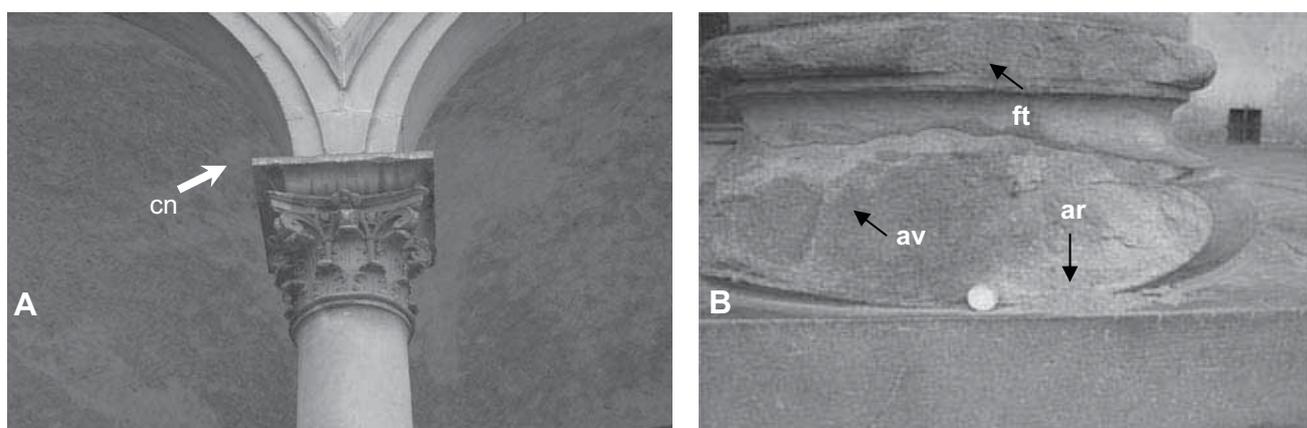


Figura 4: Processos de deterioração nas colunas exteriores do Hospital dos Inocentes. (A) Formação de crostas negras (cn) e (B) Arenização (ar), fraturação (ft) e alveolização (av).

Os processos de deterioração mais acentuados encontram-se na escultura localizada no exterior do Museu Marino Marini. O leão apresenta intensos processos como arenização, desagregação, alteração cromática e pátina biológica. Esta pátina biológica cobre quase totalmente a superfície da escultura e se constitui tal vez, no processo de degradação mais importante (Fig. 5). A natureza da rocha, com matriz prevalentemente argilosa e quantidade subordinada de cimento calcítico e o meio ambiente caracterizado pela alta poluição e acidez, são os dois fatores que têm facilitado e intensificado a deterioração da escultura.

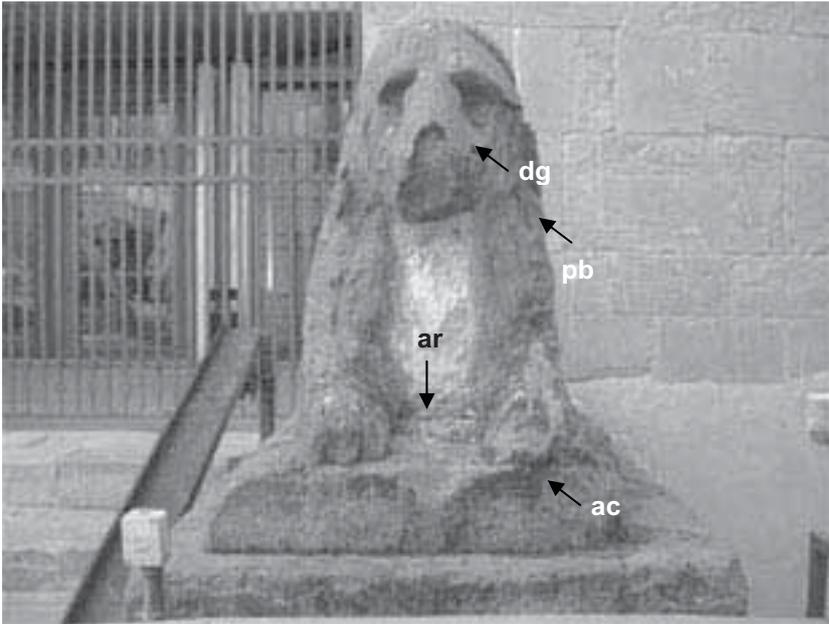


Figura 5. Processos de deterioração na escultura do leão. Exterior do Museu Marino Marini. Desagregação (dg), arenização (ar), pátina biológica (pb) e alteração cromática (ac).

OS CALCÁRIOS ORNAMENTAIS DA FORMAÇÃO LA TAMPA (EOCENO MÉDIO), COLÔMBIA

Os calcários ornamentais da Formação La Tampa (Duque *et.al.*, 1983), são explorados na área de lavra, localizada a 10Km ao sul da cidade de Montería, capital do Departamento de Córdoba, região caribe da República da Colômbia. Os materiais, produzidos em duas frentes de lavra, apresentam algumas diferenças texturais que incidem diretamente nas suas características de durabilidade e processos de alteração. Os calcários da frente de lavra₁ apresentam-se em camadas com geometria plana não paralela descontínua a lenticular com espessura variável entre 1,5 e 2,0m. A rocha é de cor verde, com zonas de cor avermelhada e ocre devido à circulação de água por microfissuras ou fraturas maiores existentes na rocha (Fig. 6A). A espessura total é de 10,0m. Núcleos ferruginosos (goethita) arredondados e crostas de alteração de cor vermelha são formas de alteração existentes no frente de lavra (Fig. 6B).

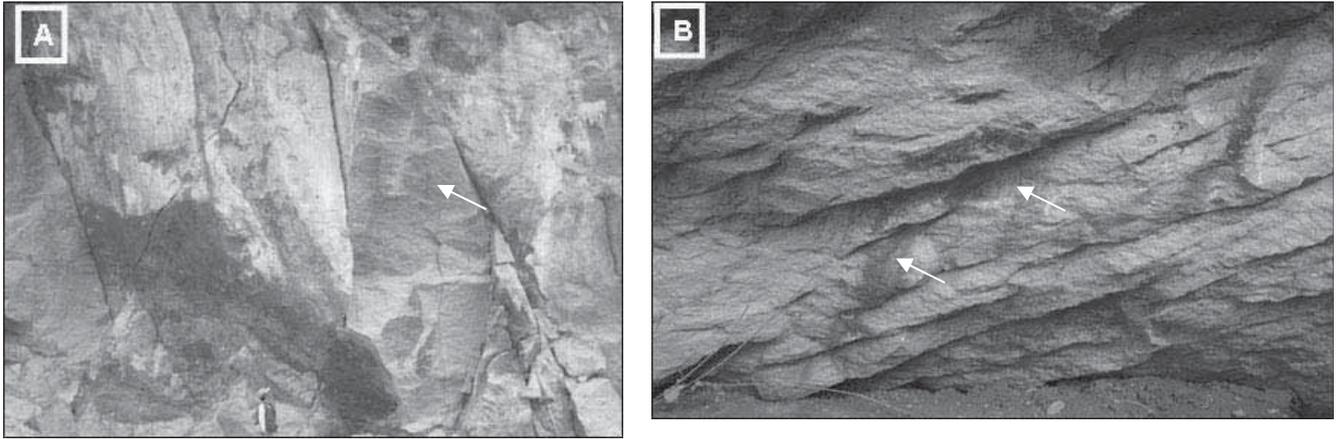


Figura 6. Detalhes dos calcários ornamentais da Formação La Tampa. A) Camadas da frente de lavra 1 cortadas por fraturas verticais e fissuras que geram superfícies alteradas com cor diferente à verde inalterada. B) Núcleos de óxidos de ferro e manchado associado.

Do calcário explorado na frente de lavra 1, são produzidas três variedades comerciais, todas elas correspondentes à mesma litologia, mas com diferenças relacionadas com o grau de intemperismo apresentado pela rocha, que dá lugar a cores diferentes nos produtos beneficiados. Assim, os produtos elaborados com calcário extraído das áreas com menor alteração apresentam cor verde homogêneo (Fig. 7A), enquanto que os obtidos a partir do calcário levemente alterado ou totalmente alterado apresentam cores que variam entre misturas de verde e ocre (parcialmente intemperizado) e totalmente ocre (totalmente intemperizado) (Fig. 7B). Os produtos beneficiados incluem chapas para revestimentos internos, externos, pisos e elementos decorativos (Fig. 7C e 7D).

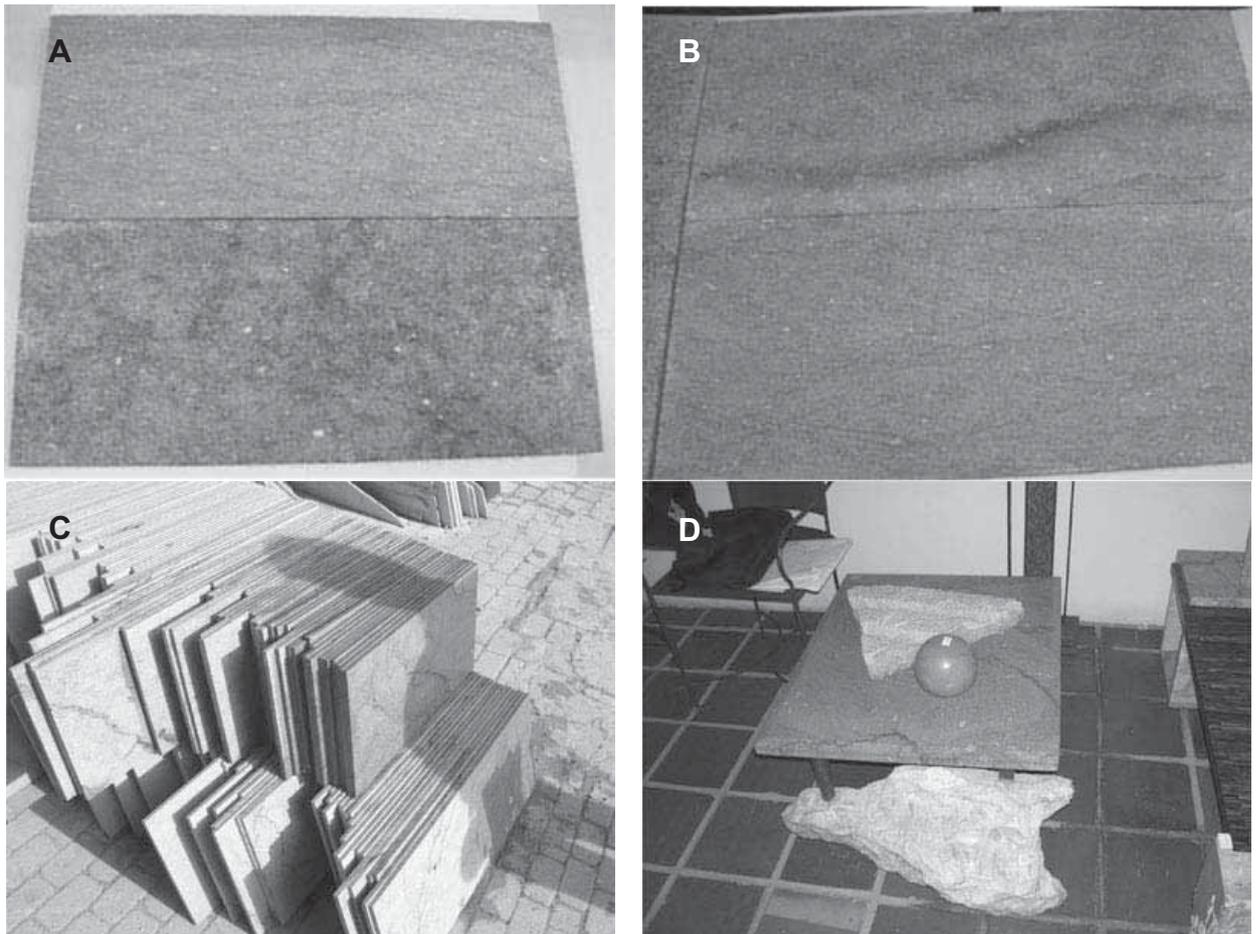


Figura 7. Produtos do calcário da frente de lavra 1. A) Chapas homogêneas de cor verde da rocha inalterada. B) Chapas com mistura de cores segundo a intensidade da alteração da rocha original. C) Chapas para uso em revestimentos externos. D) Mesa e elementos decorativos a base de calcário.

Na frente de lavra 2 (Fig. 8A), o calcário aparece em camadas com estratificação maciça e espessuras variáveis entre 1,5 e 3,0m. A rocha é de cor amarela esverdeada, texturalmente imatura, matriz arenítica, constituída de fragmentos fósseis de tamanho variável, de milimétrico a centimétrico. O produto elaborado apresenta cor dourada, textura homogênea e é utilizado especialmente em revestimentos externos e internos (Fig. 8B).

Petrograficamente observam-se algumas diferenças texturais e composicionais entre as rochas exploradas nas duas frentes de lavra em atividade. Assim, os calcários da frente de lavra 1 são calcários biosparíticos, constituídos por bioclastos de foraminíferos, moluscos, algas e corais, com bom grau de seleção e arredondamento, cimentados por esparita cristalina e com escassa matriz micrítica (Fig. 9A). Entretanto, os calcários da frente de lavra 2 são biomicríticos, pobremente selecionados e com baixo grau de arredondamento, constituídos predominantemente por fragmentos fósseis de algas e corais (Fig. 9B).

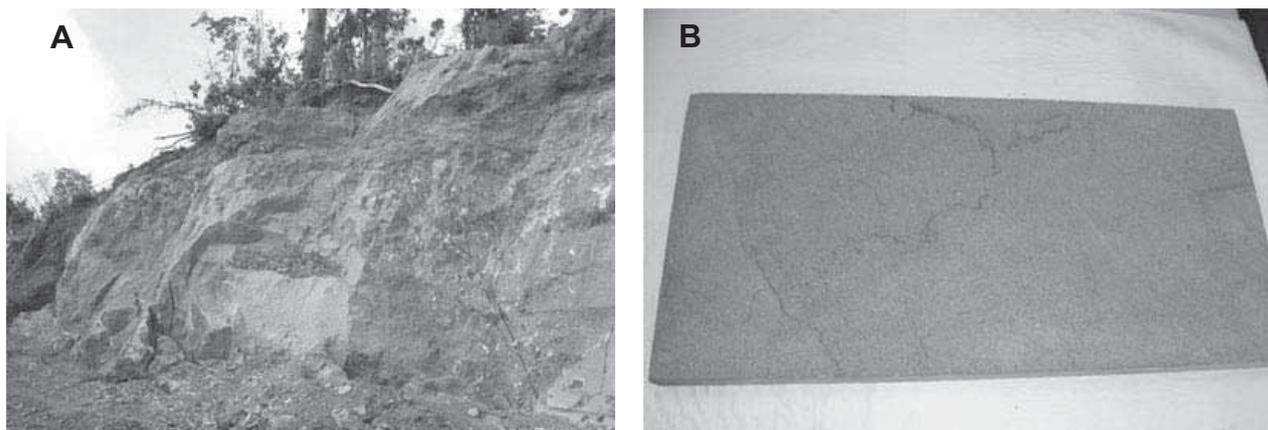


Figura 8. Frente de lavra 2. A) Camadas com estratificação maciça. B) Chapa para uso externo elaborada no processo de beneficiamento dos calcários da frente de lavra 2.

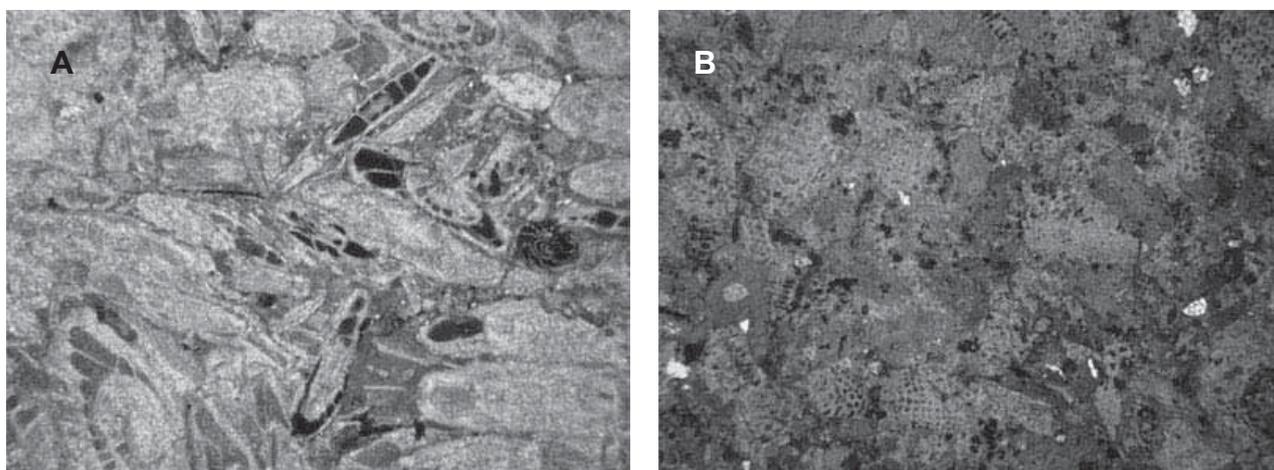


Figura 9. Características petrográficas dos calcários ornamentais da Formação La Tampa. A) Calcários biosparíticos constituídos por bioclastos de foraminíferos cimentados por esparita cristalina da frente de lavra 1. B) Calcários biomicríticos com bioclastos de algas e corais da frente de lavra 2.

USOS E PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DOS CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO LA TAMPA EM AMBIENTES URBANOS

Na cidade de Medellín, capital do Departamento de Antioquia, República da Colômbia, os calcários ornamentais da Formação La Tampa têm sido usados na construção de vários prédios recentes de reconhecida importância no desenvolvimento arquitetônico da cidade. Assim, é comum encontrar este material pétreo como revestimento de fachadas de prédios como o “Palacio de Exposiciones” e a biblioteca da Universidade de Antioquia, como revestimento de pisos e escadas no “Centro administrativo La Alpujarra” e outros lugares e como ornamento em cenários urbanos como o “Parque de las Luces”, contribuindo com sua variedade cromática a embelezar os lugares onde são utilizados (Fig. 10).

Porém, devido ao meio ambiente da cidade de Medellín, caracterizado pela alta poluição atmosférica, alta concentração de material particulado e o relevo encaixado no Vale de

Aburrá, que impede a apropriada circulação dos ventos para o transporte das substâncias poluentes, aparecem processos de deterioração nos calcários, ocasionados pelo ataque das substâncias presentes no ar poluído da cidade. A porosidade e a fissuração são outros fatores, desta vez intrínsecos, que facilitam os processos de degradação destes materiais rochosos.

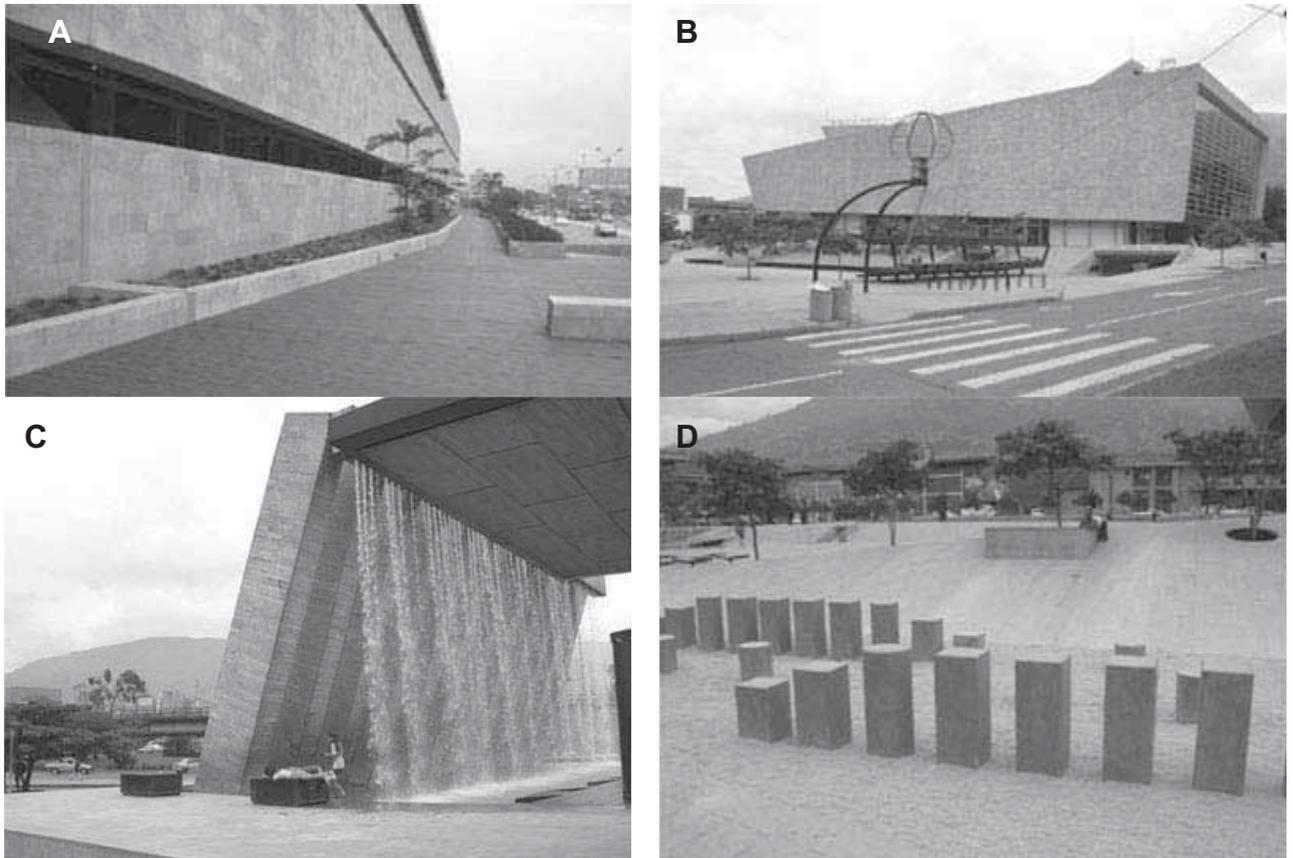


Figura 10. Uso dos calcários da Formação La Tampa em diversos cenários urbanos da cidade de Medellín. A) Palacio de Exposiciones. B) Biblioteca da Universidade de Antioquia. C) Ornamento no Parque de las Luces. D) Ornamento na Universidade de Antioquia.

A seguir, descrevem-se os processos de deterioração mais importantes observados nas chapas de revestimentos externos, pisos e ornamentos elaborados com os calcários da Formação La Tampa.

- Eflorescências salinas (ef): formação superficial de substâncias, geralmente de cor esbranquiçada e de aspecto cristalino, pulveriforme ou filamentosos. A cristalização ocorre no seio do material provocando esfoliações, escamações e mesmo lascagens. É resultado da cristalização à superfície da pedra de sais solúveis carregados por migração por capilaridade e depositados por evaporação, sob a forma de agregados cristalinos de fraca coesão (Aires-Barros, 2001). Este processo é observado na escadaria do “Centro Administrativo La Alpujarra” e nas paredes do “Palacio de Exposiciones” (Fig.11).

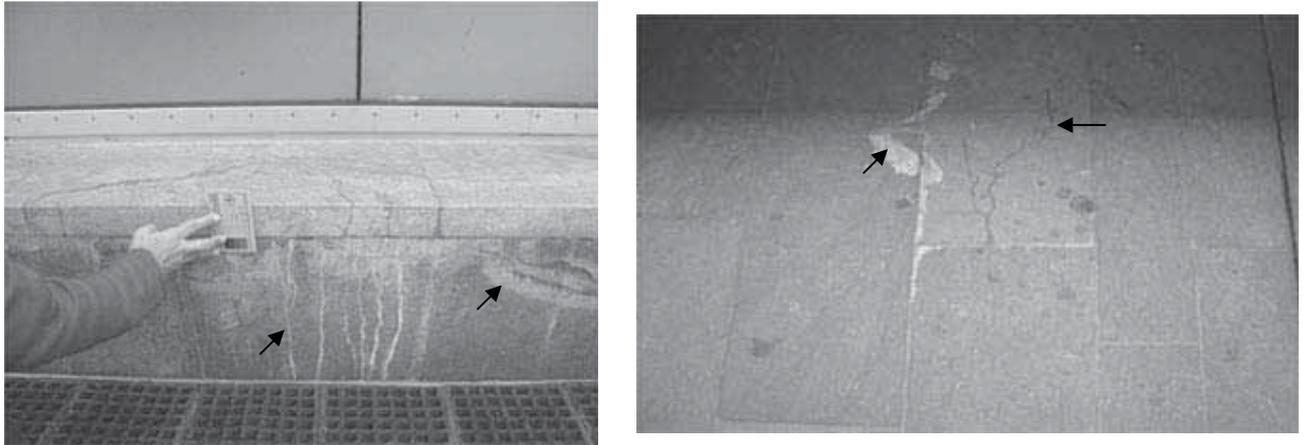


Figura 11. Formação de eflorescências. A) Escadaria e B) Paredes do Palacio de Exposiciones, Medellín. As eflorescências geram mudanças cromáticas nas chapas e podem comprometer a vida útil da rocha.

- Fissuração (fs): processo muito freqüente, especialmente quando a rocha apresenta partes inalteradas misturada com outras alteradas pela circulação meteórica de água na rocha. As fissuras pré-existentes na rocha lavrada constituem planos de fraqueza onde os processos de alteração continuam uma vez que a rocha está instalada na obra. Processo observável em pisos e revestimentos externos onde é possível ver acréscimo da intensidade da fissuração e a geração de novas fissuras (Fig.12A).
- Lascagem (lg) e esfoliação (es): processos, às vezes, individualizados e, às vezes, associados, especialmente em chapas utilizadas como pisos exteriores. As lâminas produzidas pelo processo de esfoliação atingem espessuras entre 1 e 3mm. As lascas se caracterizam pela forma côncava e espessuras de até 3mm (Fig. 12B).

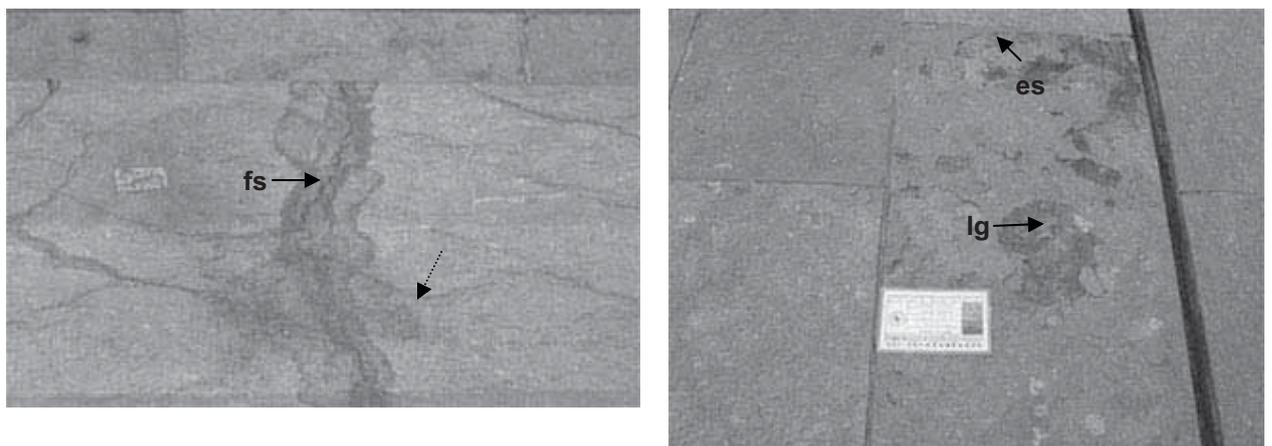


Figura 12. A) Fissuração (fs) e acréscimo da fissuração (···▶) em chapas de calcário usadas em escadaria. B) Lascagem (lg) e esfoliação (es) em pisos exteriores. Centro Administrativo La Alpujarra.

- Crostas negras (cn): acumulação de partículas, especialmente carbonosas, provenientes da combustão automotiva. O seu efeito na rocha é a corrosão superficial da rocha

compacta e a desagregação ou arenização da rocha (Del Monte, 2006). Este processo na cidade de Medellín é incipiente nos calcários utilizados em ambientes exteriores e protegidos da água de chuva, mas de rápido avanço considerando o curto tempo de instalação (revestimentos têm menos de uma década). Aparecem na escadaria do “Centro Administrativo La Alpujarra” (Fig. 13A).

- Manchado (mn): pigmentação acidental localizada da superfície da rocha. No caso dos calcários da Formação La Tampa, são devidas à presença de núcleos ferruginosos na rocha original. Estes núcleos prosseguem o seu processo de alteração originando aspectos estéticos indesejados. É freqüente tanto em escadaria quanto em chapas utilizadas em revestimentos externos (Fig. 13B).

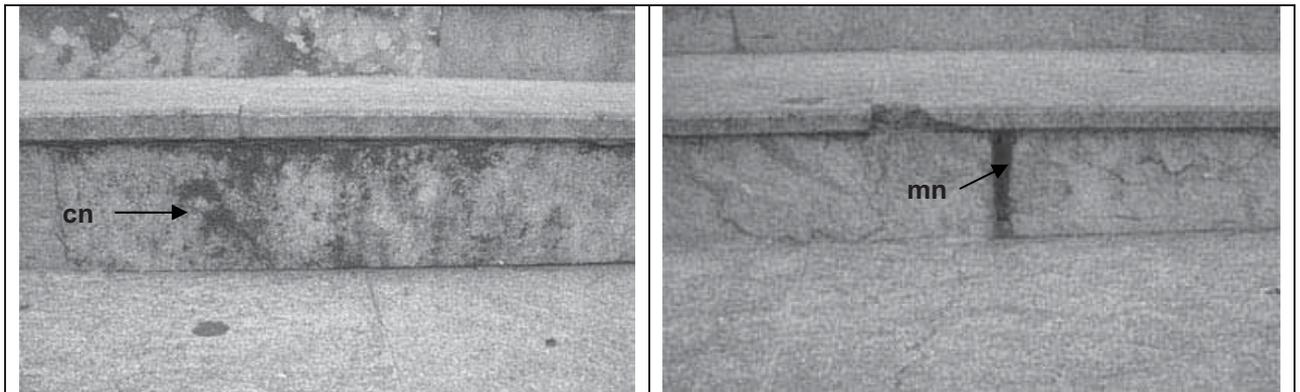


Figura 13. Processos de degradação em escadaria do Centro Administrativo La Alpujarra. A) Crostas negras (cn). B) Manchado (mn) associado aos nódulos de óxidos de ferro pré-existent.

CONCLUSÕES PRELIMINARES

É natural que os materiais rochosos tendam a se deteriorar no transcorrer do tempo. Porém, as condições ambientais dos grandes centros urbanos aceleram esses processos de degradação, como observado nas cidades de Florença (Itália) e Medellín (Colômbia). As duas cidades são caracterizadas por serem pólos de desenvolvimento industrial.

Nos dois tipos de rochas avaliadas, observa-se que o comportamento face o meio ambiente poluído depende tanto da composição mineralógica, quanto do arranjo poroso que pode facilitar ainda mais os processos de degradação. No arenito Pietra Serena, a alta porosidade e a matriz argilosa são características que facilitam o ataque das substâncias poluentes presentes no ar poluído. Nos calcários da Formação La Tampa, os processos de degradação estão relacionados com a fissuração, a porosidade e os processos de intemperismo pré-existent, que, mesmo dando tonalidades apreciadas esteticamente, também facilitam os processos de degradação nas peças elaboradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. (2001). "As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias". Volume 1. Lisboa. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico. 590p.
- BARGOSSO, G.M., FELLI, F., GURRIERI, F. (2002). Pietra Serena. Materia della città. Pubblicazione del Consorzio Pietra Serena de Firenzuola. Edizione Aida. Firenze. 197p.
- DEL MONTE, C. (2006). La durevolezza delle pietre messe in opera. Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Bolletino Ufficiale d'Informazione dell'Ordine dei geologi Regione Emilia-Romagna. Anno VI, No 23. Bologna. p.7-32.
- DUQUE, H., PAGE, W., CUELLAR, J. (1983). General geology, geomorphology and neotectonics of northwestern Colombia. (Southwestern Caribbean borderland). 10th Caribbean Geological Conference. Field Trip C. Cartagena.

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ALTERABILIDADE DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

*Roberto Carlos da Conceição Ribeiro¹; Julio César Guedes Correia;
Adriano Caranassios & Juliana Maceira Moraes*

RESUMO

O padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificações de uma rocha na sua utilização como material para revestimento, mas outro parâmetro igualmente importante é a alterabilidade. O tipo litológico, a presença de fraturas e o clima podem ser considerados os fatores que mais influenciam a taxa de intemperismo físico e químico (alterabilidade) em rochas para revestimento. Por isso o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como pedras de revestimento são fatores econômicos que influenciam na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material. Sendo assim, todo o material empregado como rocha ornamental, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que orientam o uso principal da rocha. O presente trabalho apresenta os resultados de ensaios de caracterização tecnológica, realizados em seis tipos litológicos, conhecidos comercialmente como Branco Caravelas, Branco Itaúnas, Branco Hymalaia, São Francisco, Verde Esmeralda e Mont Blanc, que foram submetidos à câmaras de névoa salina, SO₂ e umidade, além de ensaios de compressão e gelo-degelo. Pode-se perceber que a maioria das amostras apresentaram-se enquadradas às normas vigentes, com exceção do granito branco itaúnas e verde esmeralda, devido, possivelmente, às suas composições química e mineralógica diferenciadas.

1. INTRODUÇÃO

A definição de rocha ornamental estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. A rocha para revestimento é definida pela ABNT, como rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil (Frascá, 2002).

A caracterização tecnológica dessas rochas é realizada por meio de ensaios e análises, com o objetivo de obter parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, garantindo assim, a qualificação, estabilidade e segurança da rocha para uso no revestimento de edificações.

¹ Engenheiro Químico, Ph.D. Centro de Tecnologia Mineral. E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

Os ensaios são realizados para reproduzir as condições às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final. Estes ensaios são normatizados por entidades nacionais e estrangeiras como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, American Society for Testing and Materials - ASTM e Comissão Europeia de Normalização - CEN.

O estudo petrográfico de uma rocha implica uma série de observações rigorosas que pretendem, em geral, descrever a composição mineralógica, a forma, dimensões e relações mútuas dos constituintes (textura), a alteração e deformações sofridas, etc. Os estudos mineralógicos e petrográfico são importantes, pois, com base neles, muitas vezes, pode-se compreender melhor o comportamento das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas. A análise petrográfica está regulamentada pela Norma NBR12768.

2. OBJETIVO

Verificar o comportamento das rochas Branco Caravelas, Branco Itaúnas, Branco Hymalaia, São Francisco, Verde Esmeralda e Mont Blanc frente à condições de névoa salina, umidade e SO₂, além das mudanças nos valores de resistência à compressão após variações bruscas de temperatura.

3. METODOLOGIA

3.1) Ataque de SO₂

Utilizou-se 3 placas polidas com as dimensões 10cm x 10cm x 2cm, e reservou-se um corpo-de-prova padrão para avaliação visual da degradação por comparação com os que foram expostos. Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos corpos-de-prova em estufa por 24 horas à 70°C, mediu-se os valores iniciais de brilho e realizou-se a pesagem dos mesmos.

Colocou-se os corpos-de-prova na câmara (figura 3.7), suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO₂. Devido a presença de água na câmara, há formação de um ambiente ácido, capaz de atacar as rochas e simular o efeito da chuva ácida. As rochas ficam em exposição a este ambiente durante 8 horas. Passado este tempo, desliga-se o aparelho, abri-se a câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 horas o que caracteriza a conclusão de 1 ciclo.

Para o procedimento com rochas, realiza-se um total de 30 ciclos, perfazendo 720 horas de ensaio. Por fim retiram-se os corpos-de-prova, lava-se, seca-se, mede-se o brilho e realiza-se a pesagem final.

O ensaio por exposição ao SO₂ baseia-se na norma ABNT/ NBR 8096/83 para a execução do mesmo em materiais metálicos revestidos e não-revestidos.

3.2) Resistência à Compressão Uniaxial

Para este ensaio 6 cubos (7,5 cm x 7,5 cm x 7,5 cm) de cada rocha foram submetidos à ação da compressão em uma prensa Modelo HD 200 T da CONTENCO na condição seca, a fim de se obter a média da resistência à compressão em MPa, seguindo-se a norma ABNT 12.767/92.

3.3) Congelamento e Degelo conjugado à Compressão Uniaxial

Para o ensaio de congelamento e degelo utilizou-se a norma ABNT/NBR 12769. Segundo a norma, 10 corpos de prova nas dimensões 7,5 cm x 7,5 cm x 7,5 cm são saturados em água, com 5% de álcool etílico, por 24 h. Posteriormente os corpos de prova são colocados em geladeira, a -15°C, por 5 horas, e em temperatura ambiente por 24 horas (figura 3.3). Esse processo é repetido por 25 vezes (ciclos). Ao final desses ciclos, realiza-se o ensaio de compressão uniaxial.

3.4) Ataque de umidade

Inicialmente pesou-se os corpos-prova, após secagem em estufa por 24 horas à 70°C e mediu-se o brilho inicial. Reservou-se um corpo-de-prova padrão para avaliação visual da degradação por comparação com os que foram expostos. Os corpos-de-prova ficaram suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon na câmara de umidade. Ao fim dos 10 ciclos (ou mais) de 24 horas, retiram-se os corpos-de-prova e realiza-se o procedimento de secagem. Posteriormente, mede-se o brilho e realiza-se a pesagem final e observam-se possíveis alterações superficiais, comparando-se com o corpo-de-prova padrão. Até o presente momento não existe em aplicação norma específica para o referido ensaio com rochas ornamentais. Dessa forma, utiliza-se a norma ABNT/NBR 8095/83 que avalia a degradação após condensação na superfície dos materiais metálicos revestidos e não revestidos.

3.5) Ataque de Névoa Salina

Primeiramente, os corpos de prova, de dimensões 5 cm x 5 cm x 5 cm, foram lavados com água destilada para a remoção de resíduos provenientes da operação de serragem. A secagem foi realizada em torno de $70 \pm 5^\circ \text{C}$, até que se obtivesse uma massa constante. Isto é alcançado quando a diferença entre as duas últimas pesagens no intervalo de 24 horas não exceder 0,1%.

Após a retirada dos corpos-de-prova da estufa proceder a colocação dos corpos-de-prova devidamente preparados no suporte correspondente dentro da câmara (figura 3.6), sendo submetidos a diferentes ciclos. Durante os ciclos a temperatura da câmara é mantida em $(40 \pm 5)^\circ \text{C}$. O ensaio consiste em 30 ciclos (perfazendo 540 horas), contudo é possível finalizar antes de completado este número de ciclos, se a perda de massa do corpo-de-prova for maior que 50%.

A cada 15 ciclos, os corpos-de-prova são retirados da câmara para um exame visual.- Ao término do ensaio, os corpos-de-prova são imersos em água deionizada de modo que todos os sais depositados sejam removidos. Este processo é muito lento, e a água deve ser trocada periodicamente até que a remoção do sal esteja completa.

A remoção é considerada completa após uma semana da imersão, ou quando a condutividade da solução em contato com os corpos-de-prova, durante pelo menos 12 horas, não exceder duas vezes o valor da água original (destilada).

Após essa lavagem os corpos-de-prova devem foram secos em estufa a temperatura de $70 \pm 5^\circ$ C por 24 h. Após a secagem foram esfriados em dessecador, para evitar a absorção de umidade, e finalmente pesados para obtenção do peso final (Mn) além da inspeção visual. Os resultados serão representados em termos da perda de massa e/ou existência maciça de fissuras. Para realização deste ensaio utiliza-se a norma ABNT 8094/83.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resistência ao ataque de SO₂

Em relação aos resultados do ataque de SO₂ pode-se verificar na tabela 4.1 os valores percentuais da perda de brilho para cada amostra estudada. Pode-se verificar uma pequena perda de brilho para a amostra de granito verde esmeralda, chegando-se a um valor em torno de 0,5%. Porém, as demais amostras apresentaram uma perda de brilho na fixa entre 3 e 4,5 %, com exceção da amostra de granito branco Itaúnas, que apresentou a perda de brilho mais significativa, chegando-se a valores em torno de 10%. Em relação a perda de massa, pode-se verificar na tabela 4.2 que os granitos sofreram uma baixa perda de massa percentual. Porém, observa-se que os granitos, branco itaúnas e Himalaia, sofreram as maiores perdas de massa, chegando-se a valores em torno de 0,1%. Já o granito Mont Blanc apresentou a menor perda de massa.

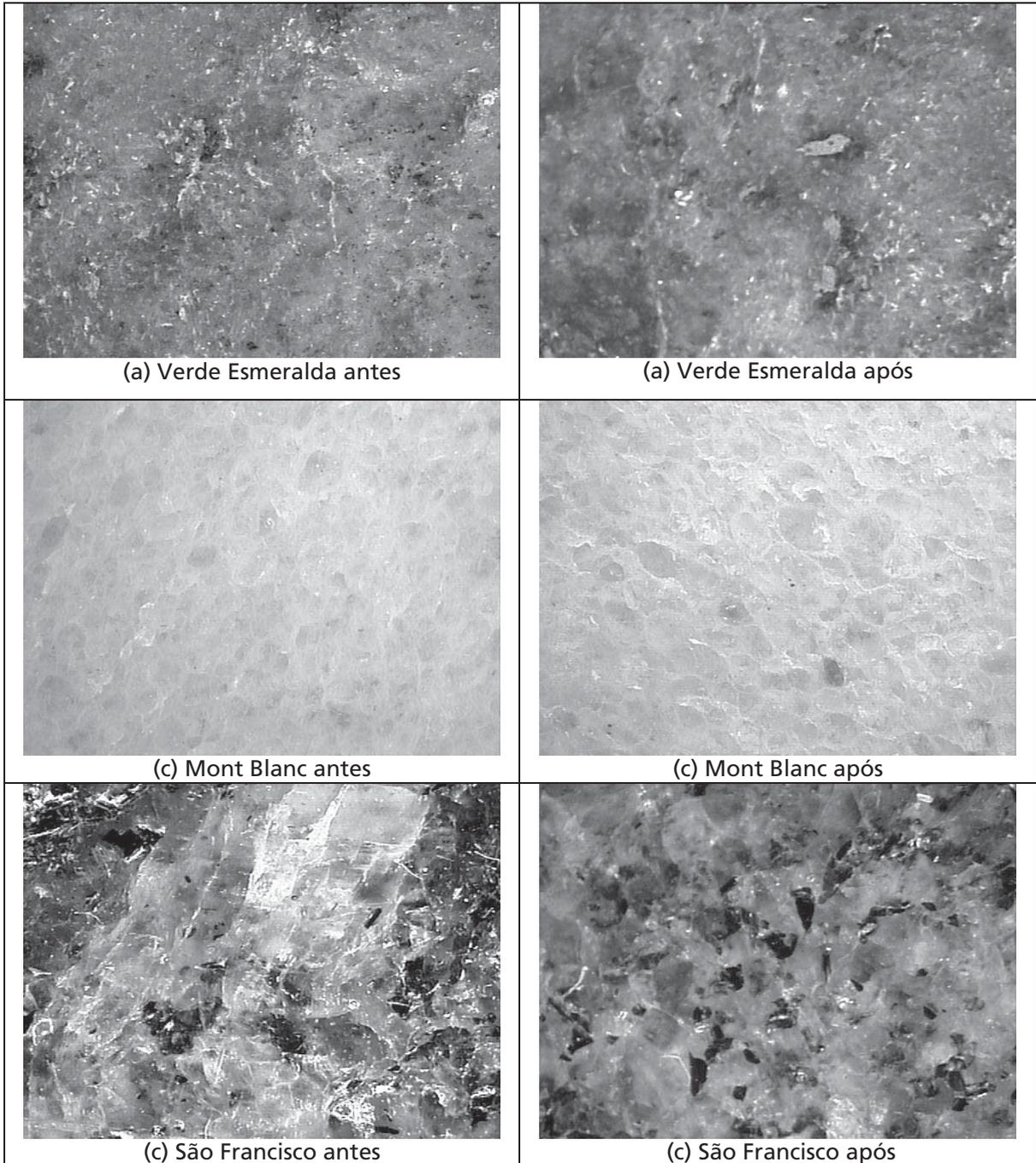
Tabela 4.1 - Variação do brilho das rochas após ataque com SO₂.

Granitos	Brilho inicial	Brilho após ao ataque	Perda de Brilho (%)
Verde Esmeralda	82,5	82,1	0,5
Mont Blanc	88,8	85,5	3,7
São Francisco	83,9	79,9	4,7
Branco Caravelas	87,5	84,6	3,3
Branco Himalaia	85,0	81,4	4,2
Branco Itaúnas	64,1	57,8	9,8

Tabela 4.2: Variação de massa das rochas após ataque com SO₂.

Granitos	Massa inicial (g)	Massa após ao ataque (g)	Perda de Massa (%)
Verde Esmeralda	1091,9	1091,44	0,042
Mont Blanc	515,3	515,17	0,025
São Francisco	519,2	518,88	0,062
Branco Caravelas	1209,9	1208,82	0,089
Branco Himalaia	502	501,48	0,104
Branco Itaúnas	515,7	515,01	0,134

A fim de se verificar a variação estrutural dos granitos em estudo, foram retiradas fotografias em lupa binocular após o ataque de SO₂ (figura 4.1) e os resultados foram comparados com as amostras isentas da ação química.



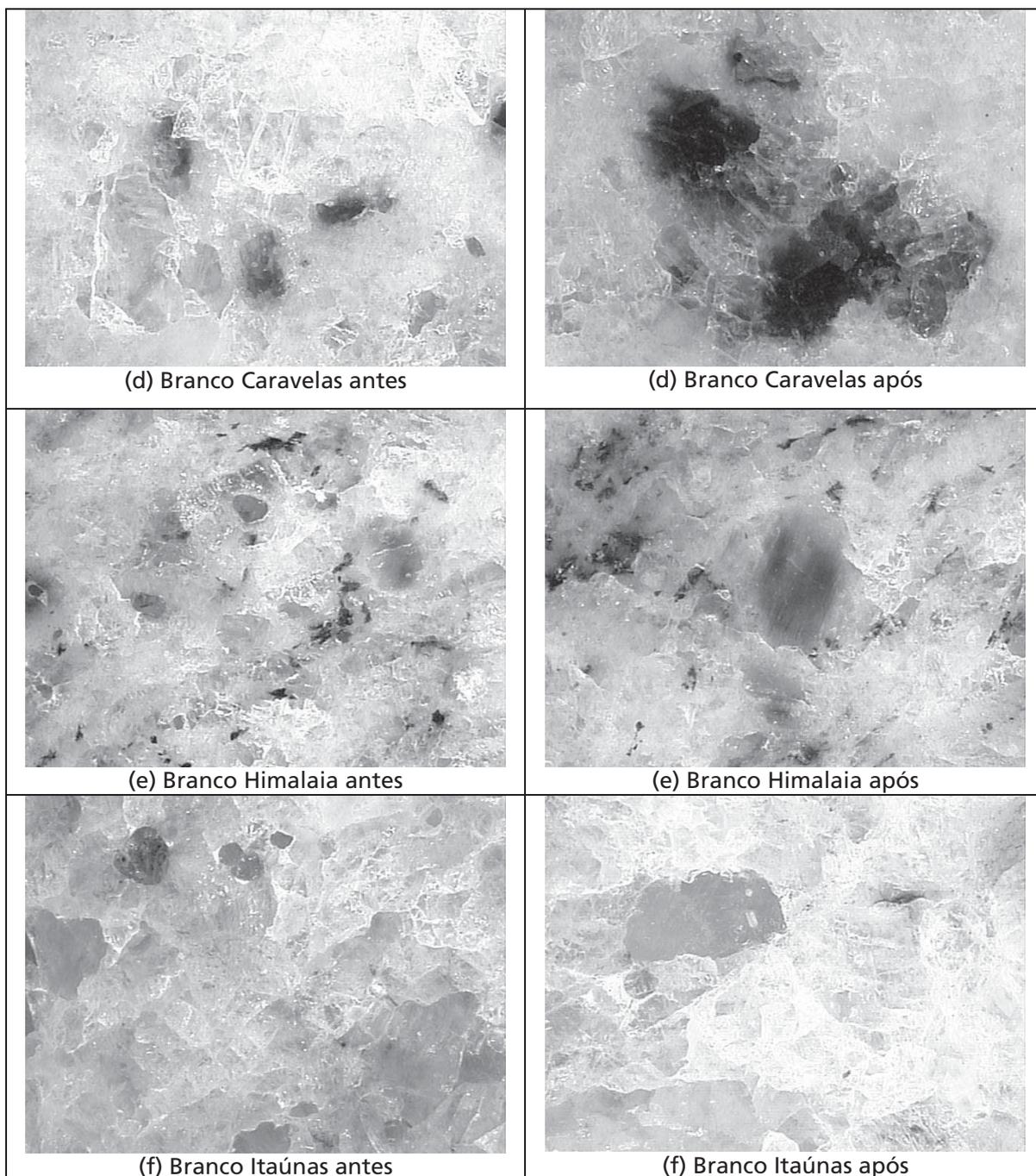


Figura 4.1: Granitos antes e após ataque com SO_2

4.2 – Compressão Uniaxial

Na tabela 4.3 pode-se verificar os resultados de compressão dos granitos em estudo na sua forma seca, sem os efeitos da variação da temperatura.

Tabela 4.3: Valores de Resistência à Compressão (MPa) dos granitos em estudo.

Granitos	Resistência à Compressão (MPa)
Verde Esmeralda	104,89
Mont Blanc	178,61
São Francisco	142,24
Branco Caravelas	125,10
Branco Himalaia	163,07
Branco Itaúnas	112,68

Segundo as normas da ASTM C 615, os granitos, geralmente, devem apresentar valores de resistência à compressão superiores a 131 MPa. Dessa forma, verifica-se que os granitos Mont Blanc, São Francisco e Branco Himalaia apresentam-se enquadrados às normas estabelecidas. Já os demais granitos encontram-se com valores inferiores ao estabelecido pela ASTM C 615.

4.3. Congelamento e Degelo conjugado à Compressão Uniaxial

Na tabela 4.4 pode-se verificar os resultados de compressão dos granitos após sofrerem variação brusca de temperatura (-15°C e 40°C). Comparando-se tais resultados com os apresentados na tabela 4.3, verifica-se que os granitos verde esmeralda e branco itaúnas foram os únicos que apresentaram uma redução considerável na resistência à compressão após a variação de temperatura. Em relação aos demais granitos, observa-se um aumento na resistência à compressão, indicando a pouca influência da variação brusca de temperatura na resistência dos mesmos.

Tabela 4.4: Valores de Resistência à Compressão (MPa) dos granitos em estudo.

Granitos	Resistência à Compressão (MPa)
Verde Esmeralda	65,50
Mont Blanc	190,53
São Francisco	159,30
Branco Caravelas	132,75
Branco Himalaia	170,85
Branco Itaúnas	84,05

4.4. Ensaio de Umidade

Pode-se perceber na tabela 4.5 que os corpos de prova das amostras dos diferentes litotipos apresentaram perda de massa insignificante e, portanto, foram pouco afetados pelo ensaio de exposição à umidade.

Tabela 4.5: Resultados do ensaio de Umidade

Amostra		Peso Inicial	Peso Final	Perda peso	Perda de Peso (%)
Branco Himalaia	BH3	513	512,65	0,35	0,068
	BH4	517,2	516,83	0,37	0,072
	BH5	515,7	515,36	0,34	0,066
	BH6	517,5	517,27	0,23	0,044
Média:					0,063
Branco Itaúnas	Bl1	513,6	513,35	0,25	0,049
	Bl2	529,4	529,22	0,18	0,034
	Bl3	513	512,87	0,13	0,025
	Bl4	534,8	534,48	0,32	0,060
	Bl5	520,4	520,15	0,25	0,048
	Bl6	514,8	514,61	0,19	0,037
Média:					0,042
São Francisco	SF1	500,8	500,57	0,23	0,046
	SF2	492,2	492,11	0,09	0,018
	SF3	483,5	483,24	0,26	0,054
	SF4	506,4	506,18	0,22	0,043
	SF5	486,1	485,81	0,29	0,060
	SF6	479,6	479,21	0,39	0,081
Média:					0,050
Mont Blanc	MB1	498,9	498,64	0,26	0,052
	MB2	509,4	509,26	0,14	0,027
	MB3	497,8	497,49	0,31	0,062
	MB4	528,8	528,64	0,16	0,030
	MB5	500,4	500,23	0,17	0,034
	MB6	526	525,77	0,23	0,044
Média:					0,042

4.5 Exposição à Nevoa Salina

Por meio dos resultados expostos nas tabelas de 4.6 a 4.11, pode-se observar que as amostras Mont Blanc e Verde Esmeralda apresentaram as maiores perdas de massa em relação às demais amostras de granito, porém, não se caracterizou uma perda significativa, uma vez que os valores não representam 0,1% da massa total da amostra.

Tabela 4.6: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Itaúnas.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Itaúnas	Bl1	299,5	299,4	0,1
	Bl2	316,7	316,5	0,2
	Bl3	311,9	311,8	0,1
	Bl4	314,9	314,7	0,2
	Bl5	330,5	330,3	0,2
	Bl6	339,9	339,8	0,1
Média:				0,15

Tabela 4.7: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Himalaya.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Himalaya	BH1	377,8	377,6	0,2
	BH2	377,3	377,2	0,1
	BH3	364,8	364,7	0,1
	BH4	361,8	361,7	0,1
	BH5	366,9	366,6	0,3
	BH6	363,3	363,1	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.8: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Caravelas

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Caravelas	BC1	336,4	336,3	0,1
	BC2	334,8	334,7	0,1
	BC3	334	333,9	0,1
	BC4	327	326,7	0,3
	BC5	342,6	342,4	0,2
	BC6	336,4	336,2	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.9: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do São Francisco

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
São Francisco	SF1	355,7	355,5	0,2
	SF2	359,3	359,1	0,2
	SF3	359,7	359,6	0,1
	SF4	357,6	357,4	0,2
	SF5	357,2	357,1	0,1
	SF6	359,2	359	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.10: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Verde Esmeralda.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Verde Esmeralda	VE1	331,7	331,4	0,3
	VE2	339,7	339,3	0,4
	VE3	340,2	339,9	0,3
	VE4	328,4	328	0,4
	VE5	341,4	341,1	0,3
	VE6	341,5	341,4	0,1
Média:				0,3

Tabela 4.11: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do **Mont Blanc**.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Mont Blanc	MB1	333,9	333,7	0,2
	MB2	358,9	358,7	0,2
	MB3	387,9	387,5	0,4
	MB4	358,2	357,8	0,4
	MB5	354,2	353,9	0,3
	MB6	358,1	357,8	0,3
Média:				0,3

4.6 – Resistência à flexão a 4 pontos

Por meio da tabela 4.12 pode-se verificar os resultados de resistência à flexão das amostras em estudo. Pode-se observar que as amostras Verde esmeralda e São Francisco apresentaram os menores resultados de flexão, quando comparadas às demais, porém, todas as amostras apresentaram valores de tensão e força dentro do que se considera, normativamente, como satisfatório para aplicação como rocha de revestimento.

Tabela 4.12: Resultados de resistência à flexão.

Amostras	Força (kN)	Tensão (MPa)
Branco caravelas	4,71	24,29
Branco itaúnas	3,68	19,31
Branco himalaya	4,61	24,20
São francisco	2,06	11,15
Verde esmeralda	2,21	11,59
Mont blanc	5,26	27,63

5. CONCLUSÕES

- Pode-se concluir que entre os granitos em estudo o Mont Blanc apresentou os maiores resultados de compressão e flexão, o que pode ser causado pelo maior percentual de sílica em sua estrutura.
- Em relação aos resultados de compressão conclui-se ainda que, além do granito Mont Blanc, apenas os granitos Verde São Francisco e Branco Himalaia apresentaram resultados compatíveis com as exigências mínimas da ASTM C615.
- Em termos de exposição ao ataque de SO_2 , verificou-se uma perda de brilho em torno de 3 - 4% para todos, porém a mais significativa foi para o granito itaúnas, que chegou a valores, em torno de 10%, devido, possivelmente, ao ataque do SO_2 (ácido) nas regiões alcalinas da rocha (K, Ca e Na), que constituem os feldspatos.
- Em termos de variação da compressão após mudanças bruscas de temperatura, pôde-se verificar que apenas os granitos itaúnas e verde esmeralda sofreram essa alteração.

- Em termos de umidade, observou-se que nenhum dos granitos sofreu alteração de brilho ou massa, porém, quando avaliados em termos de ataque de névoa salina observou-se uma perda de massa para os granitos Mont Blanc e Verde Esmeralda, devido, possivelmente, a oxidação acelerada de alguns elementos (Fe, K, Ca ou Na) que passaram para solução na forma de íons.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, NBR 12.767/92: rochas para revestimento, determinação da resistência à compressão uniaxial, Rio de Janeiro.
- 2) _____. (1983) NBR 8094/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição à névoa salina, Rio de Janeiro.
- 3) _____. (1983) NBR 8095/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada, Rio de Janeiro.
- 4) _____. (1983) NBR 8096/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição ao dióxido de enxofre, Rio de Janeiro.
- 5) _____. (1992) NBR 12763/92: Rochas para Revestimento, Determinação da Resistência à Flexão, Rio de Janeiro.
- 6) _____. (1992) NBR 12769/92: Rochas para Revestimento – Ensaios de Congelamento e Degelo conjugados a verificação da resistência à compressão, Rio de Janeiro.
- 7) ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1990, C 170/90: standard method for compressive strength of dimension stone, Philadelphia.
- 8) Frascá, M. H. B. O., Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São paulo, 2003.

CAPÍTULO 7

ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Júlio César de Souza, José Lins Rolin Filho, Márcio Luis Siqueira Campos Barros, Belarmino Barbosa Lira, Suely Andrade da Silva, Fernando Edgar Rieck

RESUMO

O presente trabalho aborda questões relativas ao desenvolvimento de metodologias para utilização de técnicas colorimétricas para avaliação do comportamento estético e textural de rochas ornamentais.

A partir desses resultados preliminares de avaliação da homogeneidade e estabilização e médias para os parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* pode-se estabelecer critérios para caracterização colorimétrica de materiais heterogêneos (rocha) com o objetivo de determinar a homogeneidade cromática do material, avaliar as mudanças cromáticas devido a processos de alterabilidade física e/ou química e realizar o controle de qualidade estético de rochas ornamentais utilizadas na construção civil.

Foram avaliados 6 tipos de rochas ornamentais de características estéticas e texturais diferentes caracterizando-se os parâmetros L^* , a^* e b^* de cada uma e chegando-se a média regularizada desses parâmetros. Dessa forma a rocha ornamental está caracterizada cromaticamente e essa caracterização poderá servir como padrão do material, estabelecendo-se uma padronização estética e cromática do mesmo.

1. INTRODUÇÃO

A cor é um fenômeno psicobiofísico definida com "a sensação recebida por meio de nossos olhos devido a observação de um objeto colorido". Envolve assim aspectos físicos, biológicos e psicológicos.

Cor é a propriedade de percepção visual correspondendo nos humanos nas categorias denominadas vermelho, amarelo, verde, azul, etc. As cores derivam do espectro luminoso (distribuição da energia da luz versus comprimento de onda) interagindo com o olho com a sensibilidade espectral dos receptores de luz

O estudo da colorimetria originou-se da experiência que Isaac Newton fez em 1666, fazendo a luz branca passar por um prisma, decompondo-se em todas as suas componentes coloridas. Newton acreditava que a luz era composta por partículas, ao contrário de outros cientistas da época, que acreditavam que a luz era um movimento ondulatório de natureza desconhecida

1 Dr. Eng^o PPGEMinas/UFPE. E-mail: jcsouza@ufpe.br

No final do século XIX, Maxwell unificou o eletromagnetismo clássico enunciando as quatro Leis de Maxwell. Com isso comprovou-se que a luz era, na verdade, uma onda eletromagnética. Maxwell também conseguiu calcular a velocidade da luz no vácuo a partir de constantes do eletromagnetismo

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas pelos seus comprimentos de onda, segundo o esquema a seguir:

Tipo	λ (nm)
TV/Rádio	300.000
IV distante	30.000
Infravermelho	3.000
Luz Visível	400-700
Ultravioleta	200
UV distante	100
Raios X	1
Raios Gama	0,01
Raios Cósmicos	0,001

A radiação eletromagnética é caracterizada por seu comprimento de onda (ou frequência) e sua intensidade. Quando os comprimentos de onda estão dentro do espectro visível (o intervalo de comprimentos de onda que os humanos podem perceber varia aproximadamente entre 380 e 740 nm) são conhecidos como luz visível. O espectro percebido por nossa visão portanto refere-se a um intervalo de comprimentos de onda das ondas eletromagnéticas entre 400 e 700 nm e pode ser visualizado a seguir.



A partir da descoberta de que o olho humano percebe todas as cores através da composição das 3 cores básicas (vermelho, verde, azul), cuja detecção é efetuada pelos cones, na retina, a Colorimetria foi fundamentada no princípio que todas as cores podem ser representadas a partir da composição de 3 cores básicas.

A cor é resultado da combinação de três elementos distintos: uma fonte de luz (um Iluminante) + o objeto cuja cor está sendo avaliada + um observador.

As características da cor são definidas por 3 atributos: o atributo da luminosidade e dois atributos de cromaticidade. Os parâmetros principais são L^* , a^* , b^* e h^* , obtidos da escala CIELAB, 1976. L^* representa a luminosidade com o sendo nessa escala o valor para a cor preta e 100 representando o branco. A cromaticidade é representada pela raiz quadrada da soma dos valores de a^* e b^* ao quadrado. Quanto mais positivo for o valor de a^* mais intensa será a cor vermelha, quanto mais negativo maior será a coloração verde. Igualmente o parâmetro b^* representa a relação entre a cor amarela ($+b^*$) e azul ($-b^*$).

Por meio dessas escalas colorimétricas podem-se estabelecer procedimentos para avaliar as características cromáticas das rochas, sua homogeneidade estrutural e estética e as variações que as mesmas podem sofrer quando submetidas a processos de alterabilidade físico e/ou química, bem como após a aplicação de agentes impermeabilizantes ou reforçadores de sua resistência.

Os princípios da colorimetria podem ser utilizados na avaliação cromática de rochas ornamentais visando definir a sua homogeneidade em diversos lotes analisados, obter-se informações sobre os constituintes minerais das rochas (desde que possuam cores diferentes) e determinar

o grau de variação cromática e estética das rochas quando submetidas a processos de alteração física e/ou química em ensaios acelerados.

No presente trabalho são apresentados resultados preliminares de caracterização colorimétrica de 6 rochas ornamentais visando estabelecer uma base metodológica para avaliação da homogeneidade cromática das mesmas e o comportamento dos parâmetros colorimétricos.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado um iluminante padrão D65 e geometria de medição a 10° e definidos os índices do sistema de cores CIE Lab: $L^*a^*b^*$, fazendo-se medições em 50 pontos das amostras para determinar-se a média acumulada das amostras e definição do comportamento médio dos índices.

Foram utilizadas amostras de rochas ornamentais na forma de placas polidas comerciais, determinando-se a reflectância média das chapas, que serve como índice de avaliação da qualidade do polimento do material, e também os índices $L^* a^* b^*$, que indicam a homogeneidade cromática e textural da rocha.

As rochas selecionadas para avaliação foram amostras dos granitos Ouro Mel (marrom amarelado – figura 1), Cinza Corumbá (cinza escuro – figura 2), Marrom Imperial (marrom escuro – figura 3), Café Bahia (marrom ocre – figura 4), Branco São Paulo (marrom acinzentado – figura 5) e arabesco (bege amarelado – figura 6).

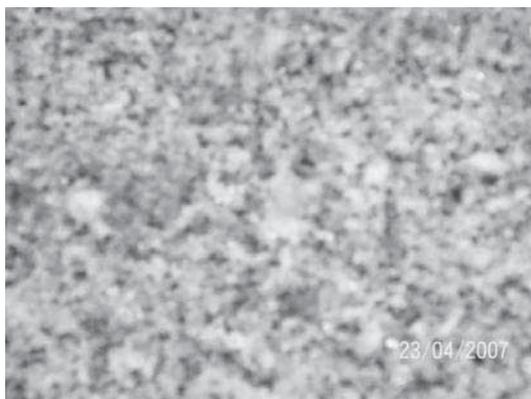


Figura 1 - Granito Ouro Mel

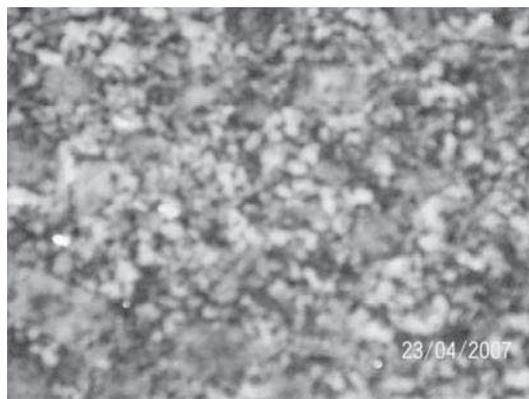


Figura 2 - Granito Cinza Corumbá

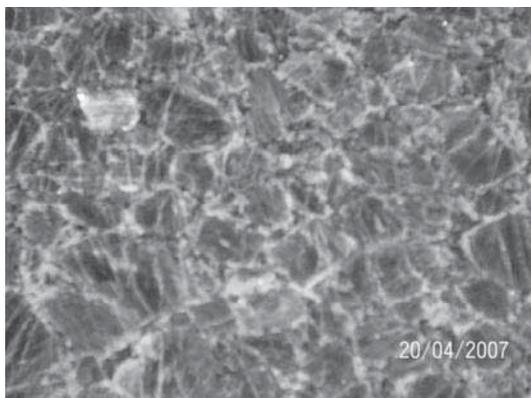


Figura 3 - Granito Marrom Imperial

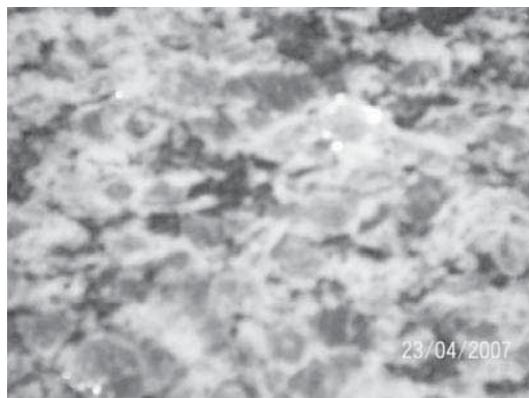


Figura 4 - Granito Café Bahia



Figura 5 - Granito Branco São Paulo

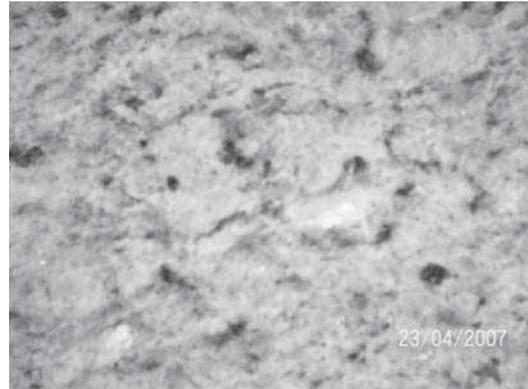


Figura 6 - Granito Arabesco

O objetivo desses ensaios é o de determinação dos índices colorimétricos L^* a^* b^* de amostras de rochas ornamentais visando a obtenção de índices de homogeneidade cromática e textural e padrão de reflectância (lustro) dos materiais a partir da obtenção da média e desvio padrão de ensaios com espectrofotômetro Byk-Gardner modelo Color-guide gloss.

EXPERIMENTAL

Foram realizadas medições em áreas aleatórias das amostras de placas polidas em quantidade suficiente para obter-se uma média regularizada dos índices L^* a^* b^* e reflectância, de modo a estabelecer a cromaticidade média das rochas ensaiadas.

As amostras de placas foram limpas com pano molhado e após secas com papel absorvente, obtendo-se a seguir a curva espectral das rochas em 50 medições com espectrofotômetro Byk Gardner modelo Color-guide gloss utilizando-se iluminante padrão D65, geometria de medição 10° e abertura de 11 mm.

Os resultados das curvas espectrais de 50 medições em cada rocha ensaiada são apresentados nas figuras a seguir indicando o comportamento cromático do material nas medições efetuadas e o grau de uniformidade textural das rochas.

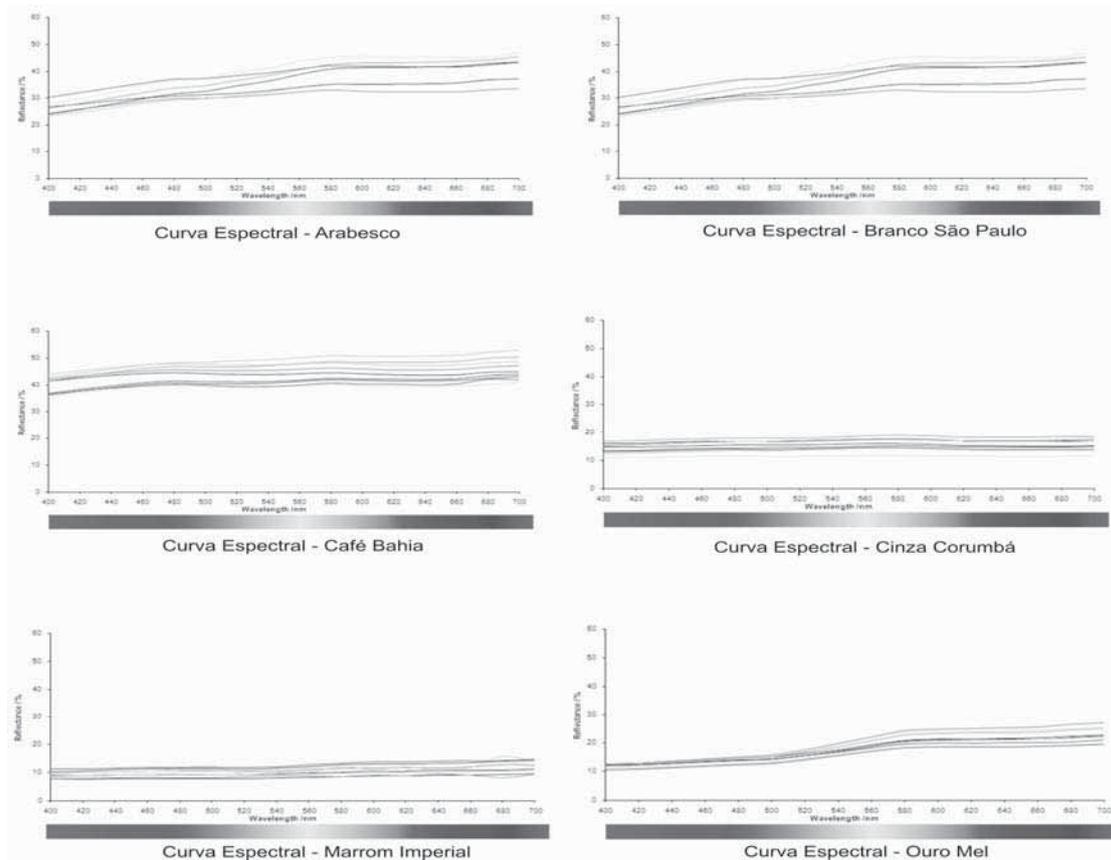


Figura 7 - Curvas espectrais dos granitos analisados

Os resultados referentes à regularização das médias acumuladas das medições realizadas visando estabelecer-se o número mínimo de medições para obter-se um valor médio estável são apresentados nos gráficos a seguir, onde se vê claramente que a partir de 25 a 30 medições tem-se um valor médio estabilizado tanto para o índice L^* como para os parâmetros a^* e b^* .

Avaliando-se o desvio padrão e o coeficiente de variação (desvio padrão / média) é possível definir o grau de variabilidade dos índices e indiretamente a homogeneidade cromática e textural da rocha analisada.

Esses parâmetros podem ser utilizados para padronizar o comportamento cromático médio dos materiais pétreos para futuras comparações com chapas alteradas, determinando-se assim de forma objetiva o grau de alterabilidade desses materiais.

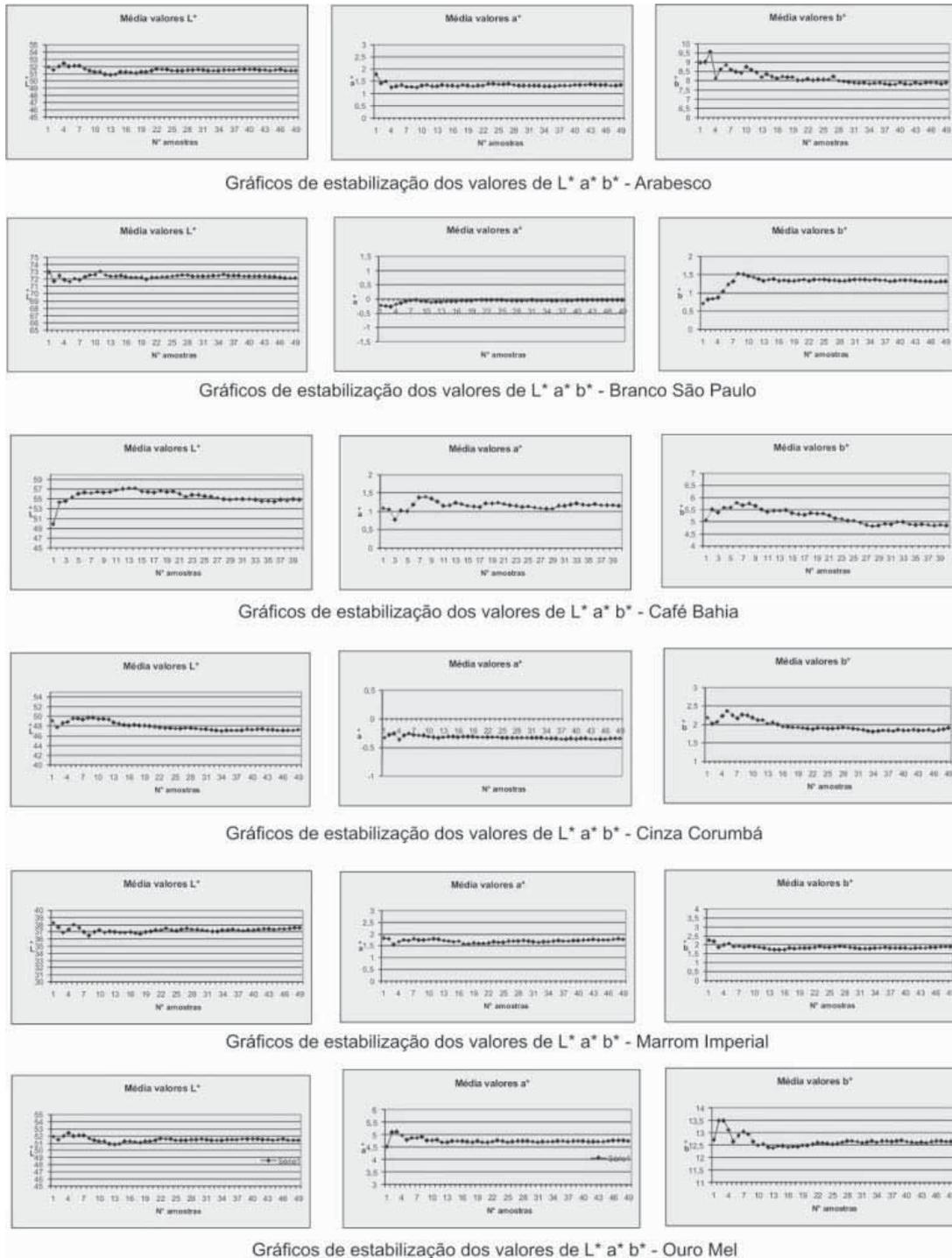


Figura 8 - Média dos valores estabilizados de L* a* e b*

Os valores médios dos índices colorimétricos medidos no sistema CIE L*a*b* e respectivos desvios padrão, para as 50 medições realizadas em cada amostra de rocha ornamental são apresentados nas tabelas abaixo, que servem de referência para estabelecimento da cromaticidade média da rocha, bem como da sua homogeneidade, inferida a partir do desvio-padrão e coeficiente de variação (σ / μ).

Tabela 1 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Ouro Mel

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	51,36	2,29	4,45%
a*	4,75	0,64	13,47%
b*	12,63	1,17	9,26%

Tabela 2 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Cinza Corumbá

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	47,17	3,22	6,82%
a*	- 0,35	0,17	48,54%
b*	1,89	0,67	35,44%

Tabela 3 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Marrom Imperial

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	37,48	3,20	8,53%
a*	1,76	0,66	37,50%
b*	1,87	0,76	40,64%

Tabela 4 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Café Bahia

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	54,72	5,95	10,87%
a*	1,14	0,87	76,31%
b*	4,83	1,45	30,02%

Tabela 5 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Branco São Paulo

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	72,10	2,92	4,04%
a*	- 0,06	0,19	316,67%
b*	1,30	0,59	45,38%

Tabela 6 - Parâmetros colorimétricos médios do granito Arabesco

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Coef. variação
L*	65,38	5,05	7,72%
a*	1,32	0,65	49,24%
b*	7,86	2,42	30,79%

RESULTADOS OBTIDOS

Granito Ouro Mel: o material apresenta-se homogêneo, com baixo coeficiente de variação nos parâmetros colorimétricos e apresenta cromaticidade básica laranja clara (valores positivos de a^* e principalmente de b^*).

Granito Cinza Corumbá: o material apresenta-se relativamente homogêneo, com alto coeficiente de variação nos parâmetros a^* e b^* indicando uma maior complexidade cromática (maior diversidade mineral) e cromaticidade básica neutra - cinza (valores de a^* e b^* próximos a zero).

Granito Marrom Imperial: o material apresenta-se relativamente homogêneo, com alto coeficiente de variação nos parâmetros a^* e b^* , tonalidade escura (baixo valor de L^*) e apresenta cromaticidade básica marrom (valores positivos de a^* e b^*).

Granito Café Bahia: o material apresenta-se pouco homogêneo, com alto coeficiente de variação nos parâmetros colorimétricos indicando uma alta variabilidade cromática, tonalidade mais clara que o Marrom Imperial (L^* maior) e cromaticidade básica marrom claro amarelado - ocre (valores positivos de a^* e b^*).

Granito Branco São Paulo: o material apresenta-se relativamente homogêneo, com baixo coeficiente de variação no parâmetro L^* e uma cromaticidade básica neutra levemente amarelada (valores de a^* e b^* próximos a zero).

Granito Arabesco: o material apresenta-se relativamente homogêneo, com alto coeficiente de variação nos parâmetros a^* e b^* indicando uma maior complexidade cromática (maior diversidade mineral) e cromaticidade básica amarelada (altos valores de b^*).

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos verificou-se que, utilizando-se uma abertura de medição pequena (11 mm), com cerca de 30 medições obtém-se uma média regularizada, que caracteriza o comportamento médio da cromaticidade do material.

A cromaticidade básica da rocha pode ser definida através dos parâmetros colorimétricos a^* e b^* .

A tonalidade característica da rocha é determinada através do parâmetro L^* , indicando se a rocha é mais clara ou escura.

Podem-se desenvolver metodologias experimentais que visem a caracterização estética e textural das rochas ornamentais (homogeneidade) através da aplicação de técnicas de colorimetria.

Através de técnicas de colorimetria aplicada podem-se desenvolver metodologias para a avaliação de lotes diversos de rochas ornamentais, determinando-se os valores médios dos parâmetros L^* , a^* e b^* , com aplicação no controle de qualidade na construção civil.

Os estudos de colorimetria aplicada podem ser uma ferramenta experimental bastante útil na determinação da alterabilidade de rochas ornamentais e sua influência nas variações cromáticas e estéticas de materiais submetidos a agentes agressivos (físicos e/ou químicos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILLMEYER. F.W; SALTZMAN M. Principles of color technology. New York: Interscience, 1966.

International Commission on Illumination (CIE). Colorimetry. 2.ed. Viena, Áustria. CIE Publications nº 15,2, 1986. International Commission on Illumination (CIE). Proceedings of the Eighth Session, Cambridge, England, 1931.

GRASSMANN. H. On the theory of compound colors. Edinburgh and Dublin Philosophical Mag. And J.Sci. London, v. 7(4), p. 254-264, 1854.

JUDD. D. B. The 1931 L.C.L. Standard Observer and Coordinate System for Colorimetry. J. Opt. Soc. Am., v. 23, p. 359-374, 1931.

JUDD. D. B. Color in business, science and industry. Journal of the Franklin Institute, v. 254, n. 2, p. 184, 1952.

LOSANO, R.D. El Color e su Medicion. Buenos Aires: Americalle, p. 612, 1978.

NASSAU, K. The Physics and Chemistry of Color: the fifteen causes of color. New York: John Wiley, 1983.

PETTER C. O. Princípios de Colorimetria. Porto Alegre: PPGEM/UFRGS, 2003. Apostila. Porto Alegre 2003.

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DA PERDA DE BRILHO EM PLACAS PÉTREAS DA REGIÃO LITORÂNEA DO RECIFE – BAIRRO BOA VIAGEM

Suely Andrade da Silva¹, Felisbela Maria da Costa Oliveira, Júlio César de Souza

RESUMO

As alterações que ocorrem nas placas pétreas em revestimentos externos é um problema aparentemente de difícil solução e que afetam várias cidades no Brasil, principalmente aquelas de regiões litorâneas, e geram conflitos de interesses, onde as verdadeiras causas das alterações acabam por serem desconhecidas.

As placas pétreas tendem a se alterar devido às agressões do clima, ação de poluentes atmosféricos e adoção de procedimentos construtivos e de manutenção inadequados. De modo geral, estes fatores alteram as características estéticas do revestimento, causando a desvalorização dos imóveis e a desfiguração da paisagem arquitetônica.

A perda de brilho dos materiais pétreos usados como revestimento, em fachadas, compromete o aspecto estético da obra. A observação deste fato é importante na elaboração de projetos arquitetônicos, pois, o que se deseja é que a placa pétrea conserve a sua característica estética durante o maior período de tempo possível.

A metodologia aplicada consiste na medição da reflexão de luz (índice de brilho) através de aparelho eletrônico portátil (Gloss Checker IG 330 Sanwa Kenma), com ângulo de incidência de 60°, em sete tipos de placas pétreas, sendo cinco "granitos" e dois "mármore".

O brilho foi medido na superfície dos vários litotipos comparando-se uma placa sã (nova, obtida em marmoraria) e placas de diversas idades de aplicação em revestimento de fachadas (tempo de construção dos edifícios), o que traduz estágios variados de alteração. Observou-se que a perda de brilho é função do tipo de rocha e do período de exposição aos agentes intempéricos. Materiais silicáticos apresentam menores perdas de brilho que aqueles carbonáticos.

INTRODUÇÃO

As rochas tiveram suas primeiras aplicações no período datado a mais ou menos 500 mil a.C. Pode-se afirmar que o uso da pedra nasceu com o homem e tem sido caracterizado em cada momento da evolução, satisfazendo vários fatores técnicos, funcionais, estéticos, entre outros.

¹ Mestranda PPGEMinas/UFPE. E-mail: suelyandrade@ufpe.br

Os revestimentos estão sempre presentes e, a cada dia, mais utilizados em diversos países, principalmente, em fachadas de edifícios comerciais e /ou residenciais, que não só têm marcado a história da arquitetura assim como também das construções em geral.

É preciso ter claro que a estética depende de brilho, mas nem sempre a rocha com mais brilho é adequada a um determinado uso pretendido. A funcionalidade e aplicabilidade são os critérios primordiais para direcionar a utilização da rocha.

As rochas mais importantes usadas comercialmente para revestimentos são os “granitos” (silicáticas) e os “mármore” (carbonáticas). Estes tipos de materiais são passíveis de polimento. O polimento, realizado na superfície da rocha, aumenta a sua capacidade de refletir a luz, o que confere ao material a característica de refletir as ondas de luz visível (brilho). Este aspecto é bastante importante quando se considera as questões estéticas e muito valorizado nos projetos arquitetônicos.

Um dos fatores que pode contribuir para ocorrência de alterações são as condições climáticas (aerossóis salinos, fortes ventos com particulados em suspensão, etc). Outros fatores importantes são a emissão de gases no trânsito, tipo e qualidade da argamassa de assentamento, rejuntamento ou a impermeabilização. De modo geral, estes fatores alteram as características estéticas do revestimento, causando a desvalorização dos imóveis e a desfiguração da paisagem arquitetônica.

Dentre as alterações encontradas em revestimentos externos executados com placas pétreas, a que mais se destaca é a perda de brilho. Além desta, existem ainda o manchamento, alteração de cor e degradação física.



Figura 1 – Alteração na cor - Granito Amarelo Florença

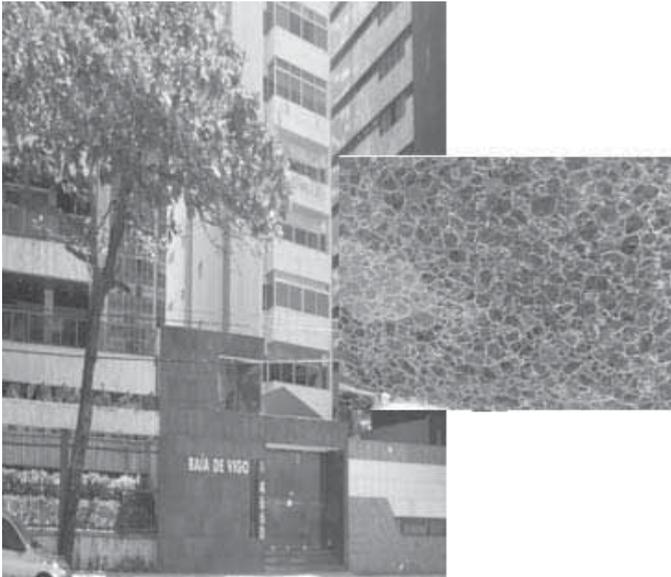


Figura 2 – Perda de brilho - Granito Marrom Imperial

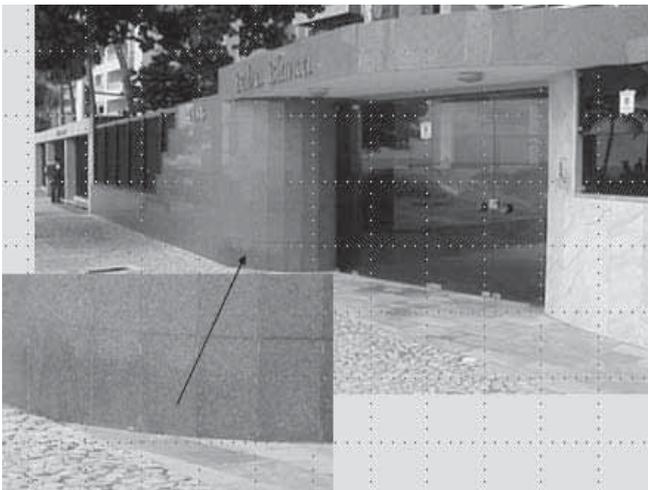


Figura 3 – Manchamentos – Granito Vermelho Ventura

METODOLOGIA

O método usado para estimar a intensidade de brilho, neste trabalho, foi a medição direta da reflectância das placas pétreas com o auxílio de um medidor de brilho modelo IG-330 – GLOSS CHECKER.



Figura 4 – Gloss Checker IG 330, SANWA KENMA

Os materiais pétreos estudados foram selecionados devido à sua alta incidência como revestimento externo nas edificações da beira-mar. São eles: Marrom Imperial, Vermelho Ventura, Arabesco, Verde Meruoca Clássico, Amarelo Florença, Mármore Travertino. As rochas silicáticas foram aplicadas em revestimentos de muros e guaritas há cerca de 5 anos, enquanto que as carbonáticas encontram-se expostas em períodos que variam de 5 a 15 anos.

Foram realizadas trinta medidas de brilho, em cada um dos litotipos polidos, em estado são. O mesmo número de medidas foi também realizado, durante o período de inverno (meses de abril, junho e agosto, do corrente ano), nos revestimentos externos nos vários condomínios. O processo de medição *in situ* é mostrado na figura 5.



Figura 5 – medição do brilho em revestimento pétreo

Os procedimentos para as determinações de índices físicos foram através da NBR 12766 ABNT onde:

NBR 12766	
OBJETIVO:	
Determinação da massa específica aparente (seca e saturada com a superfície seca), porosidade e absorção d'água aparentes de rochas, que se destinam ao uso como materiais de revestimentos de edificações.	
CORPOS-DE-PROVA:	
Dez para cada amostra, com diâmetro em torno de 7 cm ou massa ao redor de 250g.	
PROCEDIMENTOS:	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavar os corpos-de-prova em água corrente; ▪ Colocar em estufa com temperatura em (110+ - 5)°C e deixar secar por 24 h.; ▪ Retirar os corpos-de-prova da estufa e deixar resfriar à temperatura ambiente; ▪ Pesquisar os corpos-de-prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01 g. (massa "A") ▪ Colocar os corpos-de-prova na bandeja e adicionar água. Até 1/3 de sua altura. Após 4 h completar a submersão dos corpos-de-prova e deixar completar o tempo total de 24 h, ou proceder à saturação com auxílio da bomba de vácuo por 3 h. ▪ Retirar os corpos-de-prova da água, enxugar suas superfícies com um pano absorvente e pesar ao ar; massa "B". ▪ Pesquisar os corpos-de-prova individualmente, na condição submersa, utilizando-se o corpo-de-prova para pesagem hidrostática, amarrando-se o corpo-de-prova com fio de massa desprezível; massa "C"; 	
PARÂMETROS OBTIDOS:	
Massa específica aparente seca (kg/m ³)	$\rho_{a_{sec}} = A / (B - C) \text{ (kg/m}^3\text{);}$
Massa específica aparente saturada (kg/m ³)	$\rho_{a_{sat}} = B / (B - C) \text{ (kg/m}^3\text{);}$
Porosidade aparente (%)	$\eta_a = B - A / (B - C) \times 100;$
Absorção, em peso (%)	$\alpha_a = (B - A) / A \times 100.$

As análises petrográficas foram realizadas para determinação da textura, composição mineralógica, natureza e classificação da rocha, segundo a NBR 12768.

Também foram feitos registros fotográficos das várias edificações observadas.

RESULTADOS OBTIDOS

As medições de brilho efetuadas nos vários tipos de rochas são mostradas na tabela 1. Foram realizadas medidas da intensidade de brilho da rocha no estado são e nos meses de abril, junho e agosto de 2007, em vários condomínios da região litorânea de Boa Viagem, de acordo com a idade do revestimento.

LITOTIPOS	São	5 Anos	10 Anos	15 Anos
Travertino	52,0	21,3	15,3	14,3
Marrom Imperial	60,6	50,3	50,1	
Arabesco	65,9	55,7	54,5	
Vermelho Ventura	64,3	50,2	50,1	
Amarelo Florêça	65,9	56,2	56,0	
Verde Meruoca Clássico	54,7	50,2	49,4	

Tabela 1 – Demonstrativo dos litotipos x perda de brilho

Os índices físicos, massas específicas aparentes seca e saturada, porosidade e absorção, determinados para os vários litotipos em apreço estão listados na tabela 2.

Análises Índices Físicos	Travertino	Marrom Imperial	Arabesco	Vermelho Ventura	Amarelo Florêça	Verde Meruoca
Massa Esp. Apar. Seca	2,724	2,590	2,648	2,642	2,640	2,590
Massa Esp. Apar. Saturada	2,734	2,600	2,658	2,653	2,650	2,609
Porosidade	1,014	1,027	1,055	1,144	0,986	1,912
Absorção d'água	0,373	0,394	0,398	0,434	0,373	0,739

Tabela 2 – Demonstrativo dos índices físicos dos litotipos

As análises petrográficas estão dispostas na tabela 3.

		Travertino	Marrom Imperial	Arabesco	Vermelho Ventura	Amarelo Florênça	Verde Meruoca
Quartzo		12	2	30	38	27	40
Feldspato	Plagioclásio		8	25	25	35	
	Microclina	3		25	25		
K-Feldspato			75			18	40
Biotita			2	18	10	15	5
Granada				2	2	5	
Acessórios			1				
Anfibólio			12				15
Calcita		58					
Outros (Bioclastos-areia calcários-intraclastos)		27					

Tabela 3 – Resumo análise petrográfica dos litotipos

DISCUSSÃO

As placas pétreas tendem a se alterar devido, principalmente, à agressividade climática e à adoção de procedimentos construtivos e de manutenção inadequados.

As causas físicas da perda de brilho estão relacionadas ao desgaste abrasivo de particulados transportados por ação eólica que se chocam com os revestimentos de fachadas, ou o desgaste mecânico provocado em pisos polidos por tráfego intenso de pedestres/veículos. O vento, nesta região, apresenta ação abrasiva significativa, principalmente devida à presença de partículas finas (areia).

As causas químicas ocorrem pela ação de poluentes, atmosferas agressivas ou pelo uso indevido de produtos de limpeza que podem provocar a oxidação, alteração cromática, inchamento, escamação e destacamento dos minerais. Estas patologias denotam também perda de brilho do material.

Na região litorânea de Boa Viagem, os revestimentos externos dos edifícios sofrem sobremaneira a ação dos principais agentes de degradação e decomposição que atuam sobre as rochas. A água é o veículo para praticamente todos os agentes químicos, ainda que sob a forma de umidade. A elevada umidade da região litorânea aliada a sua característica salina é um dos principais fatores de intensa alteração das placas pétreas.

Também a poluição automotiva, representada na região pela grande circulação de veículos na Avenida Boa Viagem, é um dos fatores importantes na degradação dos revestimentos.

Os agentes químicos mais agressivos são o dióxido de carbono e os gases sulfurosos. Estes elementos, que em ambientes poluídos apresentam níveis de concentração elevados, reagem quimicamente com os minerais constituintes das rochas, reduzindo a sua coesão interna. O material do interior da placa pétreas poderá tornar-se pulverulento e desagregado. Assim a porosidade aumenta e, conseqüentemente, há queda na resistência mecânica do material. Em decorrência o brilho da placa também sofre decaimento.

Alguns pássaros, como por exemplo, os pombos, provocam a corrosão química através dos seus dejetos, de origem orgânica, que têm uma composição bastante ácida. Os

microrganismos, como os fungos, as algas, os líquens e as bactérias, que se multiplicam 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. A colonização de microorganismos está associada à disponibilidade de água, bastante presente nas regiões litorâneas e observadas nas jardineiras nos prédios e guaritas.

A refletância ou o brilho é uma das características estéticas mais importantes da rocha ornamental. A perda total ou a redução do brilho, provocadas por processos físicos e químicos, durante a vida útil da rocha, é um indicativo de patologia.

As variáveis que mais influem na capacidade de uma determinada superfície de rocha polida refletir a luz são:

- Irregularidades de superfície – tais feições podem refletir a luz incidente em diferentes ângulos gerando uma diminuição no brilho da superfície.
- Propriedades do material rochoso – mineralogia, proporção relativa e tamanho dos cristais, direção de corte em relação à orientação dos cristais e preenchimentos de macro e micro descontinuidades. O brilho de uma superfície de rocha polida também é função da diafanidade dos cristais, visto que os mesmos, muitas vezes, refratam a luz incidente diminuindo assim, a quantidade de luz refletida.

Assim, os processos de alteração físicos, químicos e biológicos das rochas geram aumento de porosidade e irregularidades na superfície das mesmas; a luz refletida nessas superfícies sob vários ângulos induz a uma menor refletância.

Analisando os valores do gráfico 1, verifica-se que as variações mais significativas ocorreram no mármore Travertino: no intervalo de 0 a 5 anos de exposição, a perda de brilho foi a mais importante. Este fato pode ser observado mais claramente no gráfico 1.

Em cinco anos de instalação em revestimento externo, o mármore Travertino teve decaimento do brilho da ordem de 60%. Observa-se que, a partir dessa idade, a taxa de perda de brilho diminui consideravelmente e conserva esta tendência ao longo do tempo. Com relação aos outros litotipos estudados, constata-se que a perda de brilho tem variação em torno de 20% nos cinco primeiros anos do revestimento. Depois, aos 10 anos, não há praticamente diminuição do brilho dos materiais.

O granito Verde Meruoca Clássico apresenta, inicialmente, brilho inferior às demais rochas silicáticas (54,7), entretanto a taxa de decaimento de brilho, nos anos que se seguem à sua instalação, é metade daquelas referentes às outras rochas graníticas, não havendo praticamente variação entre cinco e dez anos de aplicação.

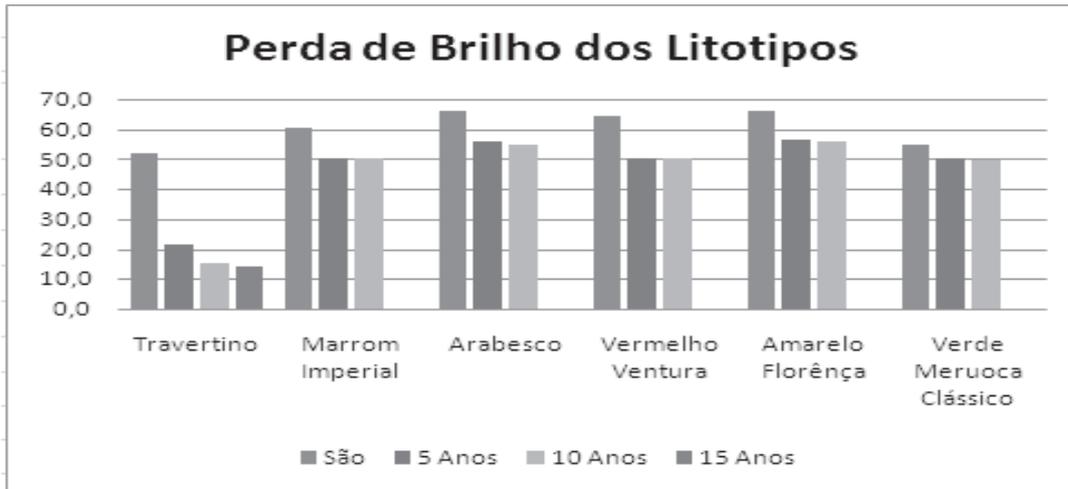


Gráfico01 – Litotipos x Perda de Brilho – Região litorânea do Recife

Quanto às rochas silicáticas estudadas, observa-se que, aquelas que mostram maior índice de refletância, apresentam em sua composição, de acordo com a tabela 4, teores modais mais elevados de plagioclásio, o proporciona melhor “fechamento” quanto ao processo de polimento.

Os índices de porosidade e absorção elevados em algumas das rochas estudadas traduzem teores de quartzo aumentados. Sendo este mineral naturalmente microfissurado, estes parâmetros revelam esta condição.

As composições mineralógicas juntamente com valores de porosidades e absorção explicam o decaimento do brilho mais acentuado nos seguintes litotipos: Marrom Imperial, Vermelho Ventura e Verde Meruoca Clássico. Vermelho Ventura e Verde Meruoca Clássico apresentam percentuais de quartzo em torno de 40%; seus índices de porosidade e absorção mais elevados, fazem com que a água e outros fluídos possam ser absorvidos mais intensamente o que acarreta alteração nos vários minerais constituintes dessas rochas.

Quanto ao Marrom Imperial, baixos teores de quartzo são observados; o feldspato potássico é o mineral mais presente o que explica a alteração mais acentuada que é traduzida pela perda de brilho (tabela 4).

LITOTIPOS	BRILHO		COMPOSIÇÃO MINEROLOGIA										ÍNDICE FÍSICOS			
	São %	Alterado %	Quartzo %	Feldspato		K-Feldsp. %	Biotita %	Granada %	Acessórios %	Anfibólio %	Calcita %	Outros %	Massa Esp. Apar. seca (kg/m³)	Massa Esp. Apar. Saturada (kg/m³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
				Plagioclásio	Microclina											
Travertino	52,0	21,3	12		3						58	27	2,724	2,734	1,014	0,373
Marrom Imperial	59,4	48,8	2	8		75	2		1	12			2,590	2,600	1,027	0,394
Arabesco	65,9	55,7	30	25	25		18	2					2,648	2,658	1,055	0,398
Vermelho Ventura	64,3	50,2	38	25	25		10	2					2,642	2,653	1,144	0,434
Amarelo Florença	65,9	56,2	27	35		18	15		5				2,640	2,650	0,986	0,373
Verde Meruoca Clás	54,7	50,2	40			40	5			15			2,590	2,609	1,912	0,739

Tabela 4 – Demonstrativo dos Litotipos (Brilho, Composição Mineralógica e Índice Físico)

CONCLUSÕES

Os principais mecanismos condicionantes e fatores que ocasionam a perda de brilho em placas pétreas utilizadas em edificações estão relacionados principalmente ao clima, condições atmosféricas - fatores extrínsecos -, e mineralogia constituinte da rocha e sua porosidade e absorção –fatores intrínsecos. O tempo de exposição aos agentes externos atua de forma importante principalmente nos períodos iniciais da instalação do material. Observamos que, no caso das rochas graníticas, esta importância é válida para os cinco primeiros anos de revestimento, a partir desta data não se observa perda de refletância significativa. No caso do mármore travertino, este período de decaimento é mais longo; a perda de brilho é muito grande nos primeiros cinco anos, decaindo depois em taxas bem menores para se estabilizar a partir de dez anos de instalação.

Dentre as sete amostras de litotipos estudados, o travertino foi quem apresentou maior perda de brilho, que indica que os materiais carbonáticos sofrem uma maior degradação física quando comparadas aos materiais silicáticos.

Quanto às rochas silicáticas estudadas, observa-se que aquelas que mostram maior índice de refletância apresentam em sua composição teores modais mais elevados de plagioclásio, o proporciona melhor “fechamento” quanto ao processo de polimento; as variações do brilho ao longo dos anos foi menos significativa que no caso do mármore travertino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, M.M.B. et. Al. *Patologia em revestimentos verticais*. São Paulo, EPUSP. PCC. 2000.
- BAUER, L.A.F. NORONHA, M.A.A.; BAUER, R.J.F. *Falhas em revestimento, suas causas e sua prevenção*. São Paulo. 1987. (Boletim L.A. FALCÃO BAUER nº 05)
- CAPAZZI, S. Fachada: atração fatal. *Construção Norte Nordeste*, n.274, mar. 1996. p. 14-9.
- FLAIN, Eleana Patta. *Recomendações para revestimentos de fachadas de rochas ornamentais*. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 132, p. 76-92, 1997.

- ____. *Uso e Aplicação de Revestimento com Placas de Rochas*. In 1º Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste 1, Recife, 1998.
- FRASCÁ, M.H.B.O. *Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento*. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003, 264 p.
- MORAIS, M.C. & RODRIGUES, E.P. *Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspato potássio e cálcicos – Técnica auxiliar no estudo de rochas*. Revista Cerâmica, v. 24, n. 97, p. 32-35, 1978.
- SILVEIRA, L. L. *Um enfoque tribológico ao processo: o polimento de granitos ornamentais*. Revista Rochas de Qualidade, Ed. 195, p. 156-164, 2007.

CAPÍTULO 9

CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO E PATOLOGIAS DOS BENS PÉTREOS DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DA ZONA DA MATA PERNAMBUCANA

Fernando Edgar Rieck¹; Júlio Cesar de Souza

RESUMO

O artigo trata, especificamente, da avaliação das condições de conservação e patologias dos bens integrados pétreos de monumentos históricos localizados em Jaboatão dos Guararapes, Recife e Olinda - áreas urbanas de grande concentração - situados na região da zona da mata (litorânea), estado de Pernambuco.

Após visitação e levantamento "*in loco*" dos monumentos históricos são apresentadas as principais patologias encontradas, com a indicação dos processos de degradação atuantes sobre os bens integrados, considerando os fatores externos, que servirão de base para futura abordagem visando a sua conservação e/ou recuperação.

O objeto de estudo compreende os bens integrados pétreos dos monumentos históricos, a saber: cantaria ornamental/estrutural e silhares, assim como materiais de revestimento e assentamento – argamassas. Através de realização de ensaios tecnológicos pode-se obter um relativo conhecimento das propriedades desses materiais que, associado aos fatores exógenos característicos do meio ambiente em que se encontram, permitem uma compreensão do processo de degradação dos mesmos e conseqüentemente, medidas corretivas e de preservação do patrimônio histórico.

O artigo apresenta uma metodologia de pesquisa para avaliação das condições de conservação e identificação de patologias nos bens integrados pétreos dos monumentos históricos religiosos, compreendendo três etapas: a primeira corresponde aos trabalhos de campo; a segunda e terceira etapas, respectivamente, de análises laboratoriais e interpretação de dados.

Enfim, a obtenção de dados técnico-científicos a partir dos estudos, avaliações e pesquisas realizados, permitirá procedimentos coincidentes às questões de manutenção e conservação e, ainda, evitar a aplicação de materiais inadequados, para que não ocorram os mais variados tipos de patologias em decorrência de degradações e alterabilidades, de bens integrados pétreos do acervo patrimonial cultural construído.

¹ Mestrando PPGEMinas/UFPE. E-mail: fernandoedgar@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O patrimônio edificado, quanto aos seus materiais pétreos - bens integrados - engloba questões técnicas e culturais, pela sua trajetória artístico-histórico-temporal, fatores preponderantes para o estudo dos mesmos.

O estudo de bens integrados pétreos – cantaria ornamental/estrutural e silhares, assim como materiais de revestimento e assentamento – argamassas - de bens culturais, a partir de ensaios tecnológicos permite um relativo conhecimento das propriedades desses materiais. Acrescentando-se a isso, avaliações do comportamento das rochas, atrelado a solicitações (resistências físico-mecânicas), aplicações (usos/funções); fatores climáticos (intemperismo físico-químico) e estudos de alterabilidade também devem ser desenvolvidos.

Em função do tempo de construção e exposição às intempéries, o monumento histórico torna-se um objeto de estudo “a céu aberto” com dados e informações relevantes e suficientes – levantamento de detalhe, descrição e caracterização de rochas - relativos aos elementos pétreos aplicados, no que diz respeito às patologias e alterabilidades dos mesmos. Assim, procedimentos e ações relacionados a métodos conservativos, podem ser executados de tal maneira que encerre ou minimize o processo de degradação/deteriorização de materiais pétreos, sempre constante, lento e gradual.

As análises e estudos referentes a conservação e patologias de materiais pétreos, a partir dos monumentos históricos existentes, considerando a cronologia de tempo, pertencem ao século XVIII (1700-1800) e localizam-se no estado de Pernambuco, região da Zona da Mata (litorânea), nos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Recife.

Cada monumento escolhido para estudo apresenta localização urbana definida e diferenciada e também diferentes materiais pétreos empregados, fazendo-se o levantamento de dados específicos em função de fatores endógenos e exógenos.

Após a escolha e identificação dos monumentos históricos, a metodologia de trabalho desenvolve-se nas seguintes etapas: levantamento fotográfico dos tipos litológicos empregados e suas patologias e, ainda, levantamento e identificação das áreas de ocorrência; precedida por amostragem de materiais existentes, estabelecendo suas características físico-mecânicas, seguidos por ensaios laboratoriais de alterabilidade, para obtenção de informações sobre o estado de conservação das rochas aplicadas como bens integrados (estruturais/ornamentais) de monumentos históricos. Por fim, a partir dos estudos e da interpretação de dados laboratoriais – composições mineralógicas, texturas, estruturas e alterabilidades variadas – evitar a execução/aplicação de materiais inadequados, para que não ocorram os mais variados tipos de patologias no acervo patrimonial cultural.

A rocha, usada com fins ornamentais e estruturais, é um recurso natural, não renovável. No patrimônio cultural material – edificado - o emprego de algumas tipologias merece atenção especial.

O conhecimento, o uso correto e adequado dos materiais empregados é de vital importância nas ações de manutenção, conservação e de intervenções restaurativas nos bens culturais, assim como para futuros projetos e trabalhos desenvolvidos no âmbito patrimonial histórico construído.

No âmbito global, mais especificamente na Europa, rochas graníticas, carbonáticas e areníticas são os litotipos mais usados nas edificações históricas, seja de arquitetura religiosa ou civil.

No Brasil, o patrimônio histórico construído está presente em praticamente todas as regiões, sendo que, em alguns estados há grande ocorrência e reservas de rochas ornamentais, com destaque para Minas Gerais. Na região Nordeste, Bahia, Pernambuco e Paraíba na trajetória histórico-temporal do patrimônio construído, a inserção da rocha faz-se presente na composição de seus monumentos históricos pela grande incidência de material pétreo, como arenitos e calcários.

Em Recife, a Basílica do Carmo, Igreja de São Pedro dos Clérigos, assim como a Igreja de Nossa Senhora da Piedade e de Nossa Senhora dos Prazeres em Jaboatão dos Guararapes e, ainda, em Olinda o mosteiro de São Bento, Igreja do Amparo e do Rosário todas apresentam um amplo emprego de arenito em seus bens integrados. Já o emprego de calcário destaca-se em Olinda, nas Igrejas de Nossa Senhora das Graças, Carmo e de Santa Thereza.



Figura 1 - Igreja de São Pedro dos Clérigos – Recife/PE. Acervo: Fernando Edgar Rieck.



Figura 2 - Igreja de Nossa Senhora do Carmo – Olinda/PE

Em Pernambuco, nos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Recife a escolha dos monumentos pétreos, para avaliação do estado de conservação e patologias associadas, foi definida em função dos seguintes fatores, responsáveis pela degradação de seus bens integrados: a localização do bem cultural, considerando sua localização e entorno - transformação da paisagem urbano-arquitetônica, poluição e condições climáticas; e tipologia(s) de rocha utilizada(s): produto local ou de outra origem – com suas características mineralógicas, químicas e petrofísicas, em função da gênese e processos intempéricos.

Considerando a evolução dos estudos em centros de pesquisas no Brasil, voltados para a área de caracterização tecnológica de rochas com aplicação industrial, os mesmos ainda encontram-se dispersos. O desenvolvimento de pesquisas envolvendo relações entre a alterabilidade das rochas e os perfis e condições da cadeia produtiva e suas aplicações finais são recentes, do mesmo modo que o grau de alterabilidade dos materiais empregados nos monumentos históricos atrelado à caracterização tecnológica e intemperismo.

Na esfera internacional, ações, estudos e pesquisas têm sido desenvolvidos por equipes multidisciplinares, envolvendo especialistas das mais variadas áreas de atuação, através de intercâmbios internacionais de pesquisa, com a adoção de procedimentos direcionados para a área de caracterização tecnológica e metodologias de conservação com o intuito de cessar a degradação/deteriorização dos materiais pétreos nos monumentos históricos. Entre as instituições envolvidas com esses estudos e pesquisas destacam-se em Portugal, o Instituto Superior Técnico (Lisboa) e o Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho (Braga); na Itália, o *Instituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali* (Florença); na França, o *Institute National de Recherches Agronomiques* (Versailles) e o *Laboratoire de Recherches des Monuments Historiques* (Marne) e na Espanha, o Departamento de Química Ambiental e Geoquímica IRNA/CSIC (Salamanca), Instituto de Ciência dos Materiais ICM/CSIC (Sevilha) e os Departamento de Geologia, Química Inorgânica, Estatística e Matemática Aplicada da Universidade de Salamanca (Salamanca).

A partir do estudo integrado de todos esses parâmetros podem-se determinar as características da rocha – fatores internos – e, também, ambientais – fatores externos, para que, futuramente, em ações direcionadas ao patrimônio edificado obtenham-se resultados favoráveis no uso racional de materiais construtivos semelhantes, incrementando as ações e políticas de conservação, visto que as rochas, degradam-se em um processo lento, constante e gradual, determinados por fatores endógenos e fatores exógenos.

A QUESTÃO DOS BENS INTEGRADOS NO ACERVO PATRIMONIAL CULTURAL CONSTRUÍDO

Os bens integrados sempre existiram. Objetos pertencentes às edificações de arquitetura civil, religiosa e militar de construções seculares ficaram à mercê dos processos patológicos – endógenos e exógenos - por muito tempo, mesmo com a multidisciplinaridade de técnicos envolvidos no assunto.

Até o início da década de 80 - séc. XX - o Patrimônio Cultural, era dividido em duas categorias de bens culturais: os bens imóveis e os bens móveis. Pela própria formação semântica, o conceito de ambas está definido; a primeira categoria, bens imóveis, de natureza irremovível, presos ao contexto no qual estão inseridos, locados, compreendendo o acervo arquitetônico, urbanístico e natural; a segunda, por dedução, é o oposto; podem ser movidos, levados ou transferidos de um local para outro sem problemas.

Enquanto arquitetos estavam voltados para os bens imóveis, museólogos e historiadores de arte detinham-se nos bens móveis; estes, com uma vasta gama de objetos, diretamente proporcional ao campo de conhecimento necessário ao técnico responsável, que, muitas vezes, recorria, e ainda recorre a especialistas das mais diversas áreas.

A instituição responsável pela organização e proteção de bens culturais, no âmbito federal, IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, quando deu reinício aos trabalhos de inventário de bens móveis e imóveis, deteu-se no trabalho organizado pelo IPAC/BA, órgão estadual, que rege sobre o patrimônio cultural baiano. A partir disso, observa-se que objetos ligados à arquitetura interior, tinham um grau de relevância nada significativo por parte de arquitetos; os mesmos objetos, muitas vezes, tinham importância muito maior que a própria arquitetura. Objetos como retábulos, forros, pinturas, lavabos, cercaduras, arcos, com o emprego dos mais variados materiais, técnicas e tipos, todos fixados, de alguma forma, a arquitetura, ao bem imóvel.

Mesmo integrados, fixados à arquitetura, e por estarem ligados às demais artes, poucos arquitetos se detiveram a eles, exceto aqueles, com formação artística mais completa, onde Lúcio Costa destaca-se; sendo, ele, o ponto de partida para tais discussões e questionamentos acerca do assunto relativo aos bens integrados de monumentos históricos.

Com isso, estes bens, *a priori*, possuíam uma categoria, uma classe à parte; que, por definição, não se enquadra nem na categoria de bem imóvel e, muito menos na de bem móvel, porém, participando de ambas.

Então, pela própria situação, os mesmos foram denominados de bens integrados fazendo parte desta categoria todos aqueles objetos que se encontram vinculados à superfície construída, seja interna ou externamente, e que, dela, só podem ser removidos com planejamento e cuidado, por técnicos habilitados para tal ação.



Figura 3* - Lavabo em rocha calcárea; sacristia - Igreja de Nossa Senhora de Nazaré – Cabo de Santo Agostinho/PE.



Figura 4* - Portada Central em arenito; frontispício - Igreja de Nossa Senhora do Amparo – Olinda/PE.



Figura 5* - Arcada em arenito; claustro – Igreja e Convento de Santo Antônio – Igarassu/PE.

*Acervo: Fernando Edgar Rieck.

Presentes nos edifícios religiosos, civis e militares, no trabalho em questão, os bens integrados, estudados, investigados, pertencem àqueles de arquitetura religiosa, onde há maior incidência, perante os demais. Os bens integrados apresentam-se em diferentes tipos de suporte, não apenas os executados em materiais rochosos, mas também em madeira e metal.

Os monumentos históricos de arquitetura religiosa espalhados pelo país contêm rico acervo de bens integrados, mostrando, no que diz respeito ao patrimônio construído, a evolução das artes no Brasil Antigo. Como exemplos de belos conjuntos: as Igrejas de São Bento e de Nossa Senhora da Glória, no Rio de Janeiro; da Igreja de Nossa Senhora das Correntes, em Penedo, Alagoas; Convento Franciscano, em João Pessoa, entre tantos outros. No estado de Pernambuco, enfatizando exemplos relacionados a bens integrados pétreos podem ser citados: a Igreja de São Pedro dos Clérigos e Basílica do Carmo, no Recife; Convento Franciscano, Igreja do Carmo e Seminário das Graças, em Olinda; a Igreja de Nossa Senhora da Piedade e de Nossa Senhora dos Prazeres, em Jaboatão dos Guararapes e, ainda a Igreja e Convento de Santo Antônio em Igarassu.



Figura 6* - Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres – Jaboatão dos Guararapes/PE.



Figura 7* - Igreja de Nossa Senhora das Neves/Convento Franciscano - Olinda/PE.



Figura 8* - Igreja e Convento de Santo Antônio – Igarassu/PE.

*Acervo: Fernando Edgar Rieck.

O USO DA ROCHA NOS MONUMENTOS HISTÓRICOS DE PERNAMBUCO E O CLIMA LOCAL – A INFLUÊNCIA NA DEGRADAÇÃO/ALTERAÇÃO E SUAS PATOLOGIAS

A partir do uso da rocha, relacionado aos fatores endógenos e exógenos, considerações técnico-científicas podem ser emitidas; já que, como dito anteriormente, o monumento histórico, em função do tempo de construção e exposição às intempéries, sempre será uma fonte de informações, dados e estudos relativos a patologias e alterações das rochas empregadas, contribuindo, assim, para ações voltadas aos métodos conservativos e, em última instância, intervenções restaurativas.

Na cidade, considerando a localização de um monumento, que, somada à evolução urbano-arquitetônica (transformação espacial no decorrer dos séculos), os processos de degradação, alterabilidade e patologias da rocha, são mais intensos que na área rural (monumentos isolados); onde, de certa forma, encontram-se “protegidos”, ao menos, de fatores exógenos relacionados à poluição ambiental, de grande ocorrência em centros urbanos.

Como exemplos, causadores de patologias diversas, têm-se: a emissão de gases por indústrias e veículos automotores; vibrações/trepidações, devidas ao tráfego intenso e constante, em vias

ampliadas ou criadas (morfologia urbana); a verticalização, diminuindo a iluminação natural e ventilação (conforto ambiental/ambiente construído); todos “inimigos” das rochas aplicadas aos bens integrados de monumentos históricos.

As patologias associadas ao uso da rocha, nos monumentos históricos, apresentam-se sob vários aspectos, mas, ocorrem em função dos agentes degradadores dos materiais pétreos. Estresses internos e externos incidem nas rochas empregadas no patrimônio construído. No caso dos monumentos históricos pernambucanos, objetos de estudo, considerando os fatores responsáveis pela degradação das rochas – endógenos e exógenos – as patologias encontradas são: crostas negras, eflorescências salinas, e acumulações biológicas (microorganismos), todas provocadas por agentes químicos; esfoliações, fissuras, *pitting*, presença de vegetação, alveolização e perdas/lacunas, causadas pelos agentes físicos.



Figura 9** - Eflorescência salina, argamassa de revestimento e silhar; Convento de Santo Antônio – Recife/PE.



Figura 10** - Esfoliação e *pitting*, cercadura de janela; Igreja de Nossa Senhora da Piedade – Jaboatão dos Guararapes/PE.



Figura 11 **- Crosta negra, cunhal; Igreja de Nossa Senhora da Piedade – Jaboatão dos Guararapes/PE.



Figura 12* - Presença de vegetação e crosta negra, torre sineira; Igreja de Nossa Senhora das Neves/Conv. Franciscano – Olinda/PE.



Figura 13** - Fissura e crosta negra, cercadura de portada; Igreja de Nossa Senhora da Piedade – Jaboatão dos Guararapes/PE.

No estado de Pernambuco, de clima quente e úmido, o processo de degradação das rochas sedimentares – arenitos e calcários - aplicadas nos monumentos é mais intenso, a partir dos fatores que influenciam no intemperismo (fator exógeno). Em função do clima local, os processos de alterações das rochas ocorrem, predominantemente, por um dos agentes do intemperismo: o químico. Outro fator de influência, que acelera a degradação das rochas é a presença de microorganismos (processos biológicos – ácidos/ biodeterioração), atrelados à temperatura (acelera a reação química) e umidade, ambas elevadas. E, ainda, os tipos de rochas e seus minerais constituintes, classificadas de acordo com a composição mineralógica, outro importante fator no processo de degradação de materiais pétreos (fatores endógenos).

Na região Nordeste do Brasil, mesmo com a incidência de outros tipos litológicos, os principais tipos de rochas aplicadas nos monumentos de arquitetura religiosa são os arenitos e os calcários, pela abundância de seus maciços rochosos e pela facilidade de cantaria. O arenito ocorre na costa brasileira, principalmente no Nordeste – Pernambuco e Alagoas, enquanto que o calcário destaca-se na Paraíba e Sergipe. Outros tipos de rochas aplicadas nas edificações locais têm sua origem no exterior; exemplo da pedra lioz, que na época do Brasil-Colônia vinha como lastro de navio; os mesmos, ao retornar para a Europa, voltavam carregados de matérias-primas diversas. A incidência desta rocha, de origem metamórfica, dá-se nos países de Portugal e França.

De origem sedimentar, arenitos e calcários são empregados tanto com função estrutural quanto ornamental nos monumentos pétreos pernambucanos. Devido à alta porosidade e baixa dureza, e sua tendência de diminuição da resistência ao intemperismo com o passar do tempo, provavelmente, a rocha calcária é gradualmente substituída pelo arenito, de maior dureza, mas também muito porosa, principalmente nas fachadas dos conjuntos arquitetônicos religiosos; mais expostas e, claro, suscetíveis aos fatores endógenos responsáveis pela degradação/deterioração de materiais rochosos.

Em Olinda, a aplicação de materiais pétreos em seus edifícios religiosos apresenta, provavelmente, dois períodos construtivos, a partir do emprego das tipologias de maior ocorrência e datação de construção dos mesmos. No período mais remoto, a rocha aplicada em maior profusão foi o calcário de procedência local, usado tanto estruturalmente quanto artisticamente. Pertencem a este período as Igrejas do Carmo e de Santa Thereza e o Seminário de Nossa Senhora das Graças que, apresenta, ainda, altares em cantaria (calcário). No segundo período o emprego do arenito foi bem maior nas fachadas, arcos, portadas, presumivelmente, por ser mais resistente (mas, também, com alta porosidade); como exemplo a Igreja e Mosteiro de São Bento.

Em Recife, o emprego do arenito, dentre os monumentos mais expressivos, ocorre na Igreja do Rosário dos Homens Pretos, de São Pedro dos Clérigos (pórtico central de extrema exuberância), Matriz de Santo Antônio, Basílica do Carmo (todas no centro da cidade) e, em Jaboatão dos Guararapes na Igreja de Nossa Senhora da Piedade (praia) e de Nossa Senhora dos Prazeres (Monte dos Guararapes).

A pedra lioz, em Recife, encontra-se na fachada da Matriz da Boa Vista, aplicada em blocos aparelhados, esculpidos, prontos, vindos de Portugal; também foi empregada na fachada da Igreja do Corpo Santo (demolida); outro exemplo de aplicação da pedra lioz está nas portadas e janelas das fachadas das Igrejas da Ordem Terceira dos Carmelitas e Franciscanos. O Lioz é

uma rocha de origem metamórfica, com dureza e porosidade média, apresenta cor bege claro, rosa e cinza, com utilização na cantaria decorativa, esculturas, fachadas e pisos.

METODOLOGIA DE TRABALHO PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO E PATOLOGIAS ASSOCIADAS AOS BENS INTEGRADOS DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO

A metodologia de pesquisa, para avaliação das condições de conservação e identificação de patologias, nos bens integrados pétreos dos monumentos históricos religiosos, compreende três etapas de desenvolvimento: a primeira corresponde aos trabalhos de campo; a segunda e terceira etapas, respectivamente, de análises laboratoriais e interpretação de dados. O resultado das etapas de pesquisa visa a elaboração de diagnósticos, a partir de abordagem científica, relacionando o estudo das características próprias dos materiais aplicados aos fatores externos, avaliando-se as interações existentes e os problemas decorrentes da ação do intemperismo físico-químico sobre os mesmos.

1ª etapa - Levantamento de campo: O levantamento de campo compreende o registro fotográfico e identificação dos tipos litológicos aplicados, com as patologias que possam ocorrer, dentre as quais: alteração cromática, alveolização, degradação diferenciada, crosta negra, desagregação, esfoliação, fissura, perda ou lacuna, *pitting*, presença de microorganismos ou vegetação, grafitismo; localização de áreas de ocorrência dos materiais pétreos empregados nos monumentos e coleta de amostras para posterior análise e estudo laboratorial.

Tipos de amostras coletadas a partir dos materiais pétreos dos monumentos históricos:

- Material microbiológico – microorganismos (fungos, algas, líquens);
- Eflorescências, a partir da cristalização de sais nos poros dos materiais;
- Argamassa de revestimento e assentamento – externos e internos;
- Rochas e Silhares, empregados nos bens integrados – externos e internos.

2ª etapa – Análise laboratorial: A análise laboratorial compreende a avaliação das amostras coletadas no trabalho de campo. A partir das amostras coletadas (bens integrados – rochas e silhares - e argamassas), com a identificação das mesmas, análises mais específicas devem ser executadas, como: caracterização mineralógica e análise química; capacidade de absorção de água; análise da porosidade; absorção de água por capilaridade; medição das propriedades mecânicas; análise química e ensaios de produtos de tratamento (hidrofugantes) com estudo da influência sobre as características petrofísicas dos materiais. Ainda, análises e avaliações de microorganismos e eflorescências coletadas sobre os diferentes tipos de materiais pétreos empregados nos monumentos.

3ª etapa – Interpretação dos resultados: A etapa final, de interpretação dos resultados das análises e ensaios, permite estabelecer correlações para realizar avaliações das condições de conservação e degradação dos materiais. As características petrográficas (mineralógicas, de texturas, estruturais) e índices físicos das rochas podem ser utilizados para determinar qual relação há entre os agentes de alteração e a suscetibilidade dos materiais empregados. A partir das análises microbiológicas são identificados os microorganismos presentes nos materiais e assim avaliar o grau de biodeterioração e sua influência no processo de

degradação do material. A identificação dos traços e características mineralógicas e químicas da argamassa de revestimento; identificação petrográfica dos materiais pétreos; identificação da constituição mineralógica e química dos biscuitos e esmaltes das peças cerâmicas; avaliação do grau de deteriorização física dos monumentos – rochas, argamassas e cerâmicas (silhares) e avaliação geral do estado de conservação/degradação dos monumentos são determinados nessa etapa.

CONCLUSÕES

Os bens integrados são todos aqueles objetos que se encontram vinculados à superfície construída, seja interna ou externamente, e que dela só podem ser removidos com planejamento e cuidado, por técnicos habilitados para tal ação.

Os principais litotipos aplicados aos bens integrados dos monumentos históricos religiosos da zona da mata Pernambucana são o calcário e arenito. A evolução histórico-construtiva dos monumentos indica que houve uma aplicação inicial de material carbonático (Olinda) e que, com o passar do tempo, o mesmo foi gradualmente sendo substituído por litotipos areníticos; onde sua aplicação, além de Olinda, teve grande profusão em Recife. A pedra Lioz, de origem metamórfica, vinda de Portugal, também foi empregada em monumentos históricos pernambucanos, com ênfase em Recife.

Os processos de degradação das rochas são influenciados por fatores endógenos e exógenos. Os fatores endógenos mais significativos são aqueles relacionados à constituição mineralógica da rocha e suas características petrofísicas (porosidade, absorção e microfissuramento). Já os fatores externos que mais afetam o desempenho dos materiais pétreos em edificações estão relacionados ao meio ambiente (clima), presença de microorganismos patológicos e transformação espacial urbano-arquitetônica do entorno.

A metodologia em desenvolvimento no PPGEMinas/CTG/UFPE prevê a realização da análise dos bens integrados pétreos de monumentos históricos na zona da mata Pernambucana, com a execução de três etapas de trabalho: Levantamento de campo, realização de análises e ensaios tecnológicos, e análise de resultados com estabelecimento de correlações entre os fatores endógenos e exógenos envolvidos no processo de degradação desses materiais; contribuindo, cientificamente, para ações de conservação, manutenção e, como último recurso, restauração, voltadas ao Patrimônio Cultural Material Brasileiro.

O conhecimento dessas relações será de grande importância tanto na questão de conservar e/ou intervir para restauração do patrimônio histórico construído, como também para gerar conhecimento sobre os processos de degradação das rochas em ambientes semelhantes. Aliado ao conhecimento dos fatores internos responsáveis pela degradação das rochas pode-se estabelecer critérios para seleção de materiais pétreos mais adequados as aplicações previstas, inclusive para edificações contemporâneas de caráter residencial e comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. 2001. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias*. Volumes 1 e 2. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico, 533 p.
- ALMEIDA, F. F. N. *Manual de Conservação de Cantarias*. Brasília, IPHAN, 2005.
- CALDAS, Zildo Sena, *Conservação e restauração de monumentos históricos*. Recife, SEPLAN – PR, Iphan, Fundarpe, 1974.
- COSTA, A.G., 2005. *Rochas ornamentais e de revestimento: procedimentos para seu conhecimento e sua conservação a partir de estudos do patrimônio construído e de projetos arquitetônicos recentes*. Anais Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, PE, p. 244-255.
- HERNÁNDEZ, M. A. V. *Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments. Protection and Conservation of European Cultural Heritage*. Research report nº 5. Project STEP-CT-90-0101. 1994. 470 p.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça de. *Tecnologia da conservação e da restauração: materiais e estruturas*. Salvador, EDUFBA, 2002.
- 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.

CAPÍTULO 10

PATOLOGIAS EM PLACAS PÉTREAS DE REVESTIMENTOS EXTERNOS NA REGIÃO LITORÂNEA DO RECIFE

Suely Andrade da Silva¹, Felisbela Maria da Costa Oliveira, Julio César de Souza

RESUMO

A importância das rochas ornamentais na arquitetura é histórica; tanto para as áreas internas como a externa. A indústria da construção civil utiliza nas edificações os mais variados tipos de revestimentos entre estes as placas rochosas (granito e mármore).

As patologias que ocorrem nas placas pétreas em revestimentos externos são problema aparentemente de difícil solução e que afetam várias cidades no Brasil, principalmente aquelas situadas em regiões litorâneas. Diversas patologias podem ser diagnosticadas nestes revestimentos, alterando suas aparências estéticas e funcionais. Acredita-se que as alterações ocorram decorrentes: de especificação das argamassas de assentamento e rejuntamento, causando o surgimento de manchas, fissuras e destacamento; escolha do tipo de rocha, onde, não raro, há uma incompatibilidade entre os agentes de degradação e as propriedades das rochas causando a perda de brilho, o surgimento de sulcos e arranhões nos revestimentos; e o uso de alguns tipos de produtos "impermeabilizantes", que causam os manchamentos e influenciam negativamente na resistência de aderência.

Além do que já foi citado, sabemos que as placas pétreas tendem, naturalmente, a se alterar, devido à 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, na zona litorânea, bairro de Boa Viagem, estas patologias se manifestam principalmente através de manchas, alteração na cor, perda de brilho, descolamento de placas, crostas, eflorescência, desgaste por abrasão, oxidação.

Nesse trabalho – com base em estudos laboratoriais, visita na área, revisão bibliográfica sobre o tema - realizou-se uma análise crítica desses fenômenos e, a partir disso, propôs-se uma série de recomendações para aplicação de placas pétreas como revestimento que apresentem menor probabilidade do surgimento de problemas patológicos.

Acredita-se que, as recomendações aqui propostas, possam vir a contribuir para a minimização dessas patologias nos revestimentos.

¹ Mestranda PPGEMinas/UFPE. E-mail: suelyandrade@ufpe.br.

INTRODUÇÃO

Além da conotação de “luxo” e do caráter de durabilidade, os materiais pétreos têm grande importância na construção civil. Diversos tipos de patologias ocorrem nos revestimentos em placas pétreas, desde simples manchas que interferem apenas na estética, até mesmo fissuras, quebras e destacamentos, que causam grandes prejuízos e comprometem toda a sua funcionalidade e segurança.

Percebendo a necessidade de consolidar, organizar e ampliar os conhecimentos nesta área, a indústria da construção civil junto com a arquitetura, vem buscando incessantemente novas tecnologias para minimizar as patologias que ocorrem nas placas pétreas.

Os materiais pétreos usados como revestimento de edificações não são eternos; degradam-se ao longo do tempo, podendo estas degradações ser aceleradas em condições climáticas mais agressivas, ambientes poluídos, ou pela utilização de procedimentos construtivos ou de manutenção inadequados.

Acredita-se que as principais causas dos problemas patológicos são a má aderência entre a placa e a argamassa de assentamento ou desta com o substrato, a alteração da argamassa de assentamento ou de rejuntamento, a alteração de produtos “impermeabilizantes” e a agressividade da atmosfera (salina e de fortes ventos com particulados em suspensão), assim como a emissão de resíduos gasosos do trânsito, característicos destas áreas, e as alterações na própria rocha.

Os problemas patológicos observados nas edificações, independentemente 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 segundo CASIMIR, (1994).

O foco desse estudo é identificar as patologias que ocorrem nos revestimentos com placas pétreas nas fachadas da região litorânea do Recife considerando os insumos utilizados para a produção dos mesmos (argamassas de assentamento e de rejuntamento, placas de rochas, produtos impermeabilizantes) e indicar procedimentos e recomendações que possam contribuir para minimizar a ocorrência de tais problemas.

METODOLOGIA

Os edifícios observados em nossa pesquisa estão situados na praia de Boa Viagem, bairro da cidade do Recife, capital de Pernambuco. Recife nasceu na foz dos rios Capibaribe e Beberibe. Além dos rios, Recife possui inúmeros canais e pontes, e por isso é conhecida como a “Veneza Brasileira” (Figuras 1).

Observaram-se as principais patologias que ocorrem nas edificações desta região do Recife. Verificou-se, então, que grande parte destes defeitos poderia ser evitada se houvesse, por parte dos profissionais da área de Engenharia e Arquitetura, conhecimento prévio das características e maneiras de assentamento dos vários tipos de materiais pétreos para revestimento. Levantamento fotográfico.



Figura 1: Orla Marítima Boa Viagem – Fonte: Google Earth - 19/03/2007)

RESULTADOS

As principais patologias observadas foram registradas através de fotografias. Observaram-se vários defeitos ocasionados pela má adequação das placas e dos insumos utilizados. Verificamos manchamentos, Perda de Brilho, descolamento, de placas, fissuras, crostas, oxidações, eflorescências, , etc. (Figura 2,3 4,5,6,7 e 8)



Fonte: Silva, S.A

Figura 2: Manchamento –Mármore Travertino



Fonte: Silva, S.A.

Figura 3: Perda de Brilho –Granito Amarelo Florença

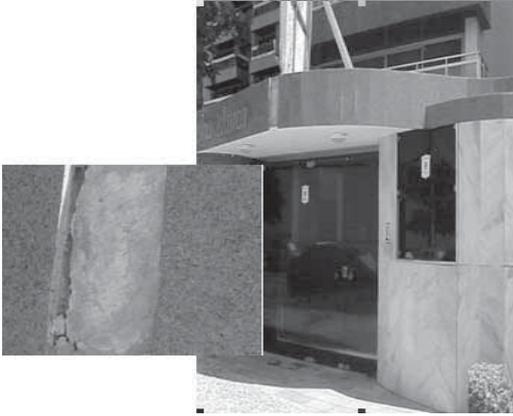


Figura 4: Descolamento de Placas
Granito Vermelho Ventura
Fonte: Silva, S.A.



Figura 5: Fissuras (Mármore Branco)
Fonte: Silva, S.A.



Figura 6: Mármore Travertino (Crosta)
Fonte: Silva, S.A.



Figura 7: Granito Marrom Imperial (Eflorescência)
Fonte: Silva, S.A.



Figura 8: Granito Arabesco (Oxidação)
Fonte: Silva, S.A.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS ROCHAS

A adequação de uma rocha para utilização como material de construção está relacionada com a capacidade de preservar as suas características originais durante um período longo de tempo.

As rochas ornamentais pelo fato de serem aplicadas em ambientes com características diferentes daqueles onde foram formadas, ficam sujeitas a processos “agressivos”, quer antrópicos (atrito ou desgaste, choques, contato com produtos de limpeza domésticos e industriais) quer “naturais” (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo) e, para se adaptarem ao novo meio o fazem através de processos de alteração.

Desta forma, para poder verificar a adequação de uma rocha para um determinado fim, é necessário conhecer, 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 e destacar uma série de características, tais como a porosidade, textura, descontinuidades, fissuras, estado de alteração, etc. A textura da rocha, 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.

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, com os poros 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, à 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.

PROBLEMAS DECORRENTES DOS INSUMOS

Argamassa de assentamento

Existe uma grande variedade de argamassas para assentamento de placas pétreas em revestimento externo.

As "farofas", encontradas em canteiro-de-obras, são assim denominadas por possuírem uma consistência semi-seca e serem confeccionadas, de maneira artesanal, a base de cimento cal e areia. São aplicadas em camada única, não sendo usual a preparação prévia da base, e com uma espessura superior a 20 mm (grande espessura).

A utilização de argamassa colante para assentamento de placas pétreas em revestimento verticais vem crescendo cada vez mais, sendo empregada com espessura 10 mm (média espessura).

Acredita-se que a argamassa de assentamento pode ser responsável pelo surgimento de diversos problemas patológicos, dentro os quais os mais importantes são: destacamentos e manchamentos.

Os destacamentos decorrem de uma ineficiente aderência entre a argamassa de assentamento e a placa pétrea ou o substrato.

Maranhão, F.L. e Barros, M.M.S. (2005), ao investigarem a resistência de aderência de diferentes argamassas utilizadas para o assentamento de mármore e granitos, constataram que nas do tipo "farofa", a proporção cimento: areia e a pulverização de cimento, anteriormente às atividades de assentamento, exercem grande influência na resistência de aderência; concluíram que, apenas naquelas em que há pulverização de cimento e onde o teor de cimento é superior a 25%, a resistência de aderência mostra-se satisfatória. Na argamassa colante, por sua vez, os resultados apresentam elevada variação, em função do tipo de argamassa, sendo que mais de 50% dos tipos testados apresentaram valores abaixo ou muito próximos de 0,50 MPa, estabelecidos pela NBR 14084 como sendo o mínimo, e que todas as classificadas como ACI e algumas como ACII apresentaram valores para a resistência de aderência insatisfatória. O tipo mais comum de manchamento é devido à umidade existente na própria argamassa de assentamento que provoca alterações cromáticas, não uniformes, nas superfícies das rochas e, dependendo das condições atmosféricas, demanda um longo período para o retorno à coloração inicial.

Segundo Frascá e Quintete (1999) "... da utilização de materiais inadequados para o assentamento de determinados tipos rochosos, resultam os manchamentos que, em geral, traduzem-se na forma de áreas de coloração amarela ou esverdeada, irregulares ou não, dispersas nas rochas".

Maranhão, F. L. (2002) ao investigar a influência do tipo de argamassa de assentamento no surgimento de manchas de umidade, constatou que os do tipo colante reduzem em até 65% o tempo necessário para o seu desaparecimento, quando comparada com às do tipo "farofa" e mistas.

Um tipo particular de manchas é a eflorescência que ocorre pela cristalização de sais solúveis oriundos da argamassa de assentamento e de regularização, quando existir, sobre as placas de

rochas (Figura 8), ocorrendo com mais freqüência quando se utiliza a técnica de grande espessura.

Os sais mais comumente encontrados nas eflorescências são os carbonatos de cálcio (CaCO_3) e de magnésio (MgCO_3), decorrentes de processos de carbonatação dos seus respectivos óxidos hidratados do cimento e a cal.

Segundo Maranhão, F. L. (2002), além dos sais citados, encontra-se em bibliografias como Fassina (1983), Uemoto (1988), Jones (1990), O'Brien; Sentamaria; Bouyland; Cooper (1995), Rivas (1996), Perry; Duffy (1996) e Ashurst; Dimes (1998), referências a diversos outros sais que podem ser encontrados em eflorescências (CaSO_4) sulfato de cálcio, (NaSO_4) sulfato de sódio, (MgSO_4) sulfato de magnésio, (NaCl) cloreto de sódio, (KCl) cloreto de potássio e (KNO_3) nitrato de potássio.

Placas de rochas

Na produção de revestimento, são utilizados diversos tipos de placas pétreas, sendo que aqui são abordados apenas os mármore e "granitos" que integram o grupo de rochas ornamentais.

Denominam-se por mármore como sendo quaisquer rochas cristalinas, compactas, capazes de receber polimento e principalmente constituídas por minerais de dureza 3 a 4 na escala de Mohs; e por granitos como as rochas fenocristalinas, compactas, capazes de receber polimento e constituídas predominantemente de minerais com dureza de 6 a 7 na escala Mohs.

As propriedades de cada tipo rochoso como resistência mecânica, dureza, resistência a agentes químicos, entre outras, dependem da sua composição química e mineralógica.

As manchas normalmente estão ligadas à presença de minerais que se alteram nas condições ambientais e produzem manchas. Esse é o caso das placas pétreas que possuem ferro em sua composição (Fe^{+2}) que, quando oxidado, transforma-se em Fe^{+3} produzindo manchas amarelas e, quando lixiviado, embranquece a superfície das placas. Os inserts em alguns casos podem também ser a causa dessas oxidações.

Rejuntamento

Nos revestimentos de placas pétreas, são usados diversos tipos de rejuntamento como as argamassas industrializadas e aditivadas com produtos poliméricos, as resinas epóxi, os matiques e as pastas e argamassas de cimento produzidos no próprio canteiro-de-obras.

Nas eflorescências, o fator o que se destaca de forma mais significativa é a presença de fissuras e descolamentos do rejuntamento, visto que esse tipo de patologia decorre da presença de grande quantidade de água para dissolver sais existentes nas demais camadas. Esses problemas estão associados à:

- Espessura de juntas entre placas muito reduzidas dificultando o preenchimento das juntas;
- Má aderência entre a placa pétrea e o rejunte;
- Retração por secagem, em decorrência do excesso de água de amassamento e de condições inadequadas de cura.

Impermeabilizantes

Com o objetivo de minimizar, ou mesmo evitar o surgimento de manchas causadas pela absorção de líquidos, vários produtos “impermeabilizantes” vêm sendo aplicados nas placas pétreas, tanto na superfície como no tardo.

Segundo Frazão & Farjallat (1996), esses produtos dividem-se em dois grupos: os de superfície, que modificam a tensão superficial dos materiais, e os endurecedores, que atuam através da precipitação de sais pouco solúveis ou na formação de gel que preenchem os vazios da placa.

Os problemas que podem ser atribuídos a utilização de produtos “impermeabilizantes” são:

- Alteração do aspecto superficial: Seja pela formação de uma película superficial, seja pela sua degradação em função dos agentes de degradação (temperatura e umidade), os produtos “impermeabilizantes” podem provocar a perda de transparência e o surgimento de manchas, normalmente amarelas, que alteram completamente o aspecto superficial das placas pétreas.
- Redução na resistência de aderência: Quando aplicado no tardo, anteriormente ao assentamento da placa pétrea, o “impermeabilizante” poderá influenciar na resistência de aderência, pois reduz a permeabilidade à água, dificultando, assim, a penetração de pasta para ancoragem placa-argamassa.

ESPECIFICAÇÕES

Recomenda-se ao profissional responsável pela especificação do material pétreo (arquiteto/projetista) que o mesmo observe o seguinte roteiro afim de que possa escolher materiais que possam garantir um adequado desempenho do revestimento e que estas especificações sejam compatíveis com o ambiente.

Especificações quanto aos insumos

Argamassa de assentamento: Maranhão, F. L. (2002), sugere que, no método construtivo de grande espessura, use-se a argamassa do tipo farofa constituída apenas de cimento e areia de granulometria média. A argamassa de assentamento deve ser constituída por um traço 1: 4 (cimento: areia úmida) e a água a ser acrescentada deve ser apenas a necessária para que a argamassa se torne trabalhável, conferindo-lhe em uma consistência semi-seca.

Quando se usa o método de média espessura a escolha da argamassa deve estar baseada em resultados fornecidos pelo fabricante da argamassa que comprovem a sua eficiência, devendo-se sempre evitar o uso de argamassas classificadas como ACI pela NBR 14081 (ABNT,1996).

Neste caso, as argamassas devem ser produzidas em indústrias específicas e respeitadas o tempo de descanso, de abertura e de utilização. A água a ser acrescentada deve ser àquela indicada pelo fabricante, tomando-se cuidado para que não fique muito fluida.

Placas pétreas: Como roteiro para especificação do material pétreo, são sugeridas as etapas seguintes:

- Identificar os agentes de degradação característicos do ambiente a ser revestido (condições climáticas);

- Pesquisar as possíveis placas pétreas que mais se adaptam ao ambiente. Neste item é muito importante conhecer as características físicas, químicas e mecânicas do material que se pretende usar; ter sempre em mente que existem disponíveis no mercado muitas rochas com padrão estético semelhante, mas com propriedades diferentes;
- Visitar outras edificações em fase de uso, que estejam revestidas com as rochas pré-selecionadas, procurando observar se há perda de brilho, manchas de umidade, entre outros problemas;

Material de rejuntamento: Deve apresentar uma boa trabalhabilidade permitindo um total preenchimento das juntas; evitar o uso de rejantes produzidos no canteiro de obras, sendo preferível o uso de produtos impermeáveis.

Produto impermeabilizante: Não devem ser utilizados produtos “impermeabilizantes” de uso genérico, mas apenas os específicos para mármore e granitos. Não devem ser utilizados produtos formadores de películas no dorso e laterais das placas, pois influencia na resistência de aderência da rocha e quando for usar na superfície, verificar se os produtos têm resistência a radiação ultravioleta, de modo a evitar as manchas amareladas.

Especificações para recebimento e armazenamento dos insumos na obra

Placas de rocha: É importante conferir se o material que está sendo entregue na obra está de acordo com o especificado, observando as tolerâncias dimensionais, de cor, brilho e a presença de trincas, lascas e aranhões na superfície das placas (figura 9).



Figura 9: Armazenamento - Fonte: Santana,O.J.

Argamassas, rejantes e impermeabilizantes: O cimento, as argamassas colantes e os rejantes devem ser verificados quanto à validade do lote e seu grau de hidratação. Os materiais industrializados (argamassa, cimento e rejunte) devem ser estocados em pilhas máximas de 10 unidades, em local protegido da ação de intempéries e sobre estrado (os sacos não podem

estar empedrados). A areia deve ser inspecionada quanto à granulometria e a concentração de matéria orgânica, limitando o seu limite a 300 ppm medidos segundo os procedimentos da NBR 7220; a areia deve ficar em baias protegidas do contato direto com o solo natural.

CONCLUSÕES

A importância do conhecimento das placas pétreas, suas propriedades e métodos 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.

Como é sabida, a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos torna-se grave ao comprometer o desempenho e a estética dos edifícios, e sua recuperação, além de gerar gastos significativos, atenta contra a tranquilidade e segurança dos moradores. Esta situação vem comprometendo a especificação dos revestimentos com materiais pétreos em razão do número de problemas apresentados.

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.

Nesse trabalho, as visitas na área, revisão bibliográfica sobre o tema fundamentaram uma análise crítica desses fenômenos e, a partir disso, propôs-se uma série de recomendações para aplicação de placas pétreas como revestimento que indiquem menor probabilidade do surgimento de problemas patológicos.

Acredita-se que, as recomendações aqui propostas, possam vir a contribuir para a minimização dessas patologias nos revestimentos. Em síntese a pesquisa indicou a necessidade de:

- Execução e melhoria de qualidade dos projetos de revestimento;
- Melhoria do controle das fases de planejamento, suprimentos, produção e;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas Cerâmicas- Determinação da Resistência de Aderência NBR 14084/1998.
- AIRES-BARROS, L.a. 1991. Alteração e Alterabilidade de rochas. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica 384 p.
- AMOROSO G.G.; FASSINA V., Stone decay and conservation - atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. Elsevier, Amsterdam, 1983. 453 p.

- ASHURST, John; DIMES, Francis G, Conservation of building and decorative stones. Butterworth-Heinemann, London 1990 .
- BARROS, Mercia & MARANHÃO, Flávio. Influência do Método de Assentamento no Surgimento de Manifestações Patológicas em Revestimentos com Placas de Rocha. Relatório FAPESP do Auxílio na pesquisa, N. 00/14331-9, não publicado. São Paulo, 2003.
- BT/PCC/246 Tecnologia e Projeto de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios. JONAS SILVESTRE MEDEIROS, FERNANDO HENRIQUE SABBATINI. 28 p.
- CAMPANTE. Edmilson. Metodologia para diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada. São Paulo, 2001. 407 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CAMPANTE, E.F.; SABATINI, F.H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIAS DE LAS CONSTRUCCIONES, V. Montevideu, 1999, Anais Montevideu 1999.
- CASIMIR, C. Testing, evaluation and diagnostics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING ENVELOPE SYSTEMS AND TECHNOLOGY. Singapore, 1994. Proceedings. Singapore, 1994, p-79-84.
- FLAIN, E.P. Recomendações para Revestimentos de fachadas de rochas ornamentais. São Paulo: Rochas de Qualidade. N 132, p. 76-92, 1997.
- FRASCÁ, M.H.B.O. Estudos Experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003, 264 p.
- FRASCÁ, M.H.B. de O. & QUITETE, E.B. Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo – Características Tecnológicas. Rochas de Qualidade, n. 154, p. 154-171, 2000
- FRASCÁ, M.H.B. de O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1 / Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2, 2002, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: CETEM, 2002, p. 53-59.
- FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL, 1, 1995, Lisboa, Anais. Lisboa, 1995, p. 47-58.
- JONES, Melaine Suzan. The Degradation of Building Stone. Tese (Doutorado). Corrosion and Protection Center. University of Manchester, 1990, 569p.
- JUST, Ângelo C.S. Deslocamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife. São Paulo, 2001 – Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MARANHÃO, Flávio Leal. Patologias em revestimentos aderentes com placas de rocha – São Paulo, 2002 – Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- O'BRIEN, P.F; BELL, E.; SANTAMARIA, S.P.; BOYLAND, P.; COOPER, T.P.; Role of mortars in the decay of granite. The Social of Total Environment, n.167, 1995. P.103-110.
- PERRY, S.H.; DUFFY, A.P.; The Short-Effects of mortar joint on salt movement Stone. Atmospheric environmet, V.31, n. 9, p.1297-1305, 1997. Elsvier Science Ltda, 1997.

RIVAS, Teresa Brea. Mecanismos de alteration de las rocas graniticas en la construcción de edificios antiguos em galicia. Tese (Doutorado). Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela. 1996. 366 p.

UEMOTO, Kai L. Umidade nas edificações. Tecnologia de Edficações 3. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, PINI. 1988.

CAPÍTULO 11

ESTUDO DE ALTERABILIDADE DE UM LIMESTONE DE NOME COMERCIAL MONDORÈ

*Roberto Carlos da Conceição Ribeiro¹, Julio César Guedes Correia
& Adriano Caranassios*

RESUMO

Recentemente, um Limestone (Monderè), foi utilizado em uma obra civil em um Shopping do Rio de Janeiro como piso em uma sala de rente para o mar. No entanto, passado alguns dias após sua colocação, as rochas apresentaram mudança de coloração, manchamento e liberação constante de um resíduo sólido. Na tentativa de limpeza da rocha foi utilizado peróxido de hidrogênio (água oxigenada), com enceradeira com uma esponja Scotch Bride. Com a limpeza realizada, as rochas ficaram claras, mas após um certo tempo voltaram a apresentar a tonalidade amarelada. Com base nisto, realizaram-se ensaios de caracterização e alterabilidade de rochas, para que se descobrisse a possível causa do dano que as rochas sofreram. Dessa forma, realizaram-se ensaios de índices físicos e ataque químico com uma série de reagentes químicos. Pôde-se observar que o material apresentou variação de sua estrutura, com liberação de pó e alteração de coloração após a adição de reagentes ácidos, indicando que o material colocado no shopping, possivelmente, foi limpo com algum produto de limpeza, que continha ácido em sua composição, que foi capaz de destruir o piso como um todo.

1. INTRODUÇÃO

Uma marmoraria do Rio de Janeiro foi à fornecedora de uma rocha chamada comercialmente de Limestone Monderè, como apresentado na figura 1.1, para uma obra civil em um Shopping da referida cidade.

¹ Eng. Químico, Ph.D. Centro de Tecnologia Mineral. E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

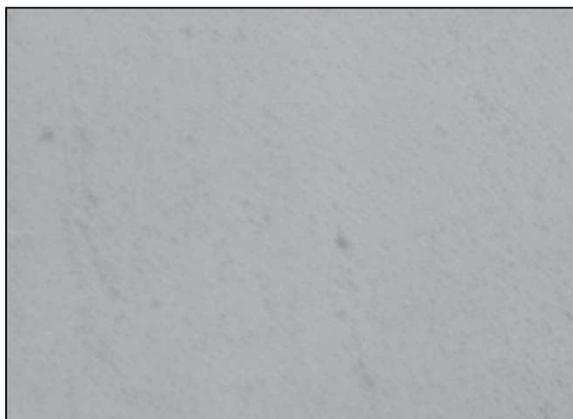


Figura 1.1: Aspecto macroscópico da rocha Mondorè.

No entanto, passado alguns dias após sua colocação, as rochas apresentaram mudança de coloração, manchamento e liberação constante de um resíduo sólido, como indicam as figuras 1.2 e 1.3.

Na tentativa de limpeza da rocha foi utilizado peróxido de hidrogênio (água oxigenada), com enceradeira com uma esponja *Scotch Bride*. Com a limpeza realizada as rochas ficaram claras, mas após um certo tempo voltaram a apresentar a tonalidade amarelada. Outros esclarecimentos que nos foram passados foi que após o assentamento o material foi co-

berto com plástico bolha, mas não em toda a extensão todo o tempo. A pintura das paredes foi feita à pistola, e haviam partes do piso expostas. Além disso, possivelmente, algum material de limpeza não adequado foi utilizado para limpeza da cola dos rodapés, que foram feitos após a colocação do piso.

Com base nisto, a referida empresária contactou o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, que realiza ensaios de caracterização e alterabilidade de rochas, para que se descobrisse a possível causa do dano que as rochas sofreram.



Figura 1.2: Verificação do surgimento de pó.

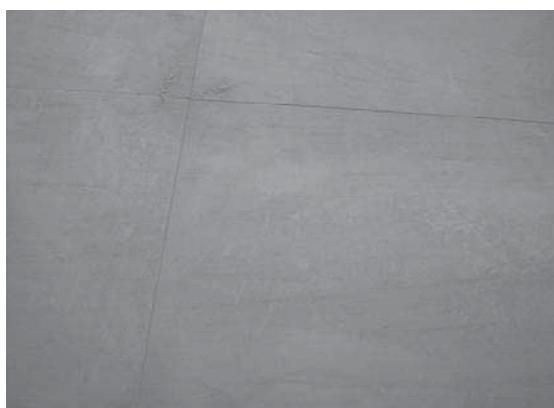


Figura 1.3: Manchas observadas.

2. OBJETIVO

Baseado nos fatos relatados acima, o objetivo deste trabalho foi o de verificar se a degradação sofrida pela rocha ocorreu de forma natural ou ocorreu devido a um ataque químico.

3. EXPERIMENTAL

3.1) Índices Físicos

Utilizou-se 10 corpos de prova, nas dimensões (5,5 cm x 4 cm x 2 cm) da amostra de rocha. Os corpos de prova foram pesados, a seco, após 24 h em estufa a 70 °C. Posteriormente, foram submersos em água destilada por 24 h e foram obtidos seus pesos saturado e submerso, com o auxílio de uma balança de precisão.

Posteriormente, calculou-se suas massas específicas secas e saturadas, porosidade e absorção d'água, por meio de fórmulas especificadas na norma ABNT 12.766/92.

3.2 Ataque Químico

Foram realizados ensaios de ataque químico utilizando os reagentes descritos na tabela 3.1 em 18 placas com as dimensões 10 x 10 x 2 cm, a fim de se tentar descobrir o produto comercial ou o composto químico causador do problema nas rochas.

Tabela 3.1: Reagentes utilizados

Ácido Clorídrico PA	Cloreto de Amônio PA	Hidróxido de Sódio PA
Hipoclorito de Sódio PA	Ácido Sulfúrico PA	Água Oxigenada PA
Ácido Cítrico PA	Água Sanitária comercial	Removedor Tiner comercial
Aguarrás	VEJA	AJAX
Sapólio Radium em pó	Álcool etílico comercial	Sabão em pasta
Sabão em Pó	Cera líquida Tacolac	Soda Cáustica

Em cada uma das placas colocou-se um anel, em PVC, para adição dos reagentes descritos na tabela 3.1, como apresentado na figura 3.1. Cada reagente ficou em contato com a rocha durante 24 h sendo posteriormente avaliado macroscopicamente e em lupa binocular. As peças que sofreram alterações significativas foram tratadas com peróxido de hidrogênio (água oxigenada) e impermeabilizados com o produto Bellinoní IDEA HP.



Figura 3.1: Procedimento do ensaio de ataque químico.

4. RESULTADOS

4.1 Índices Físicos

Por meio da tabela 4.1 pode-se verificar os valores de massas específicas, seca e saturada, porosidade e absorção.

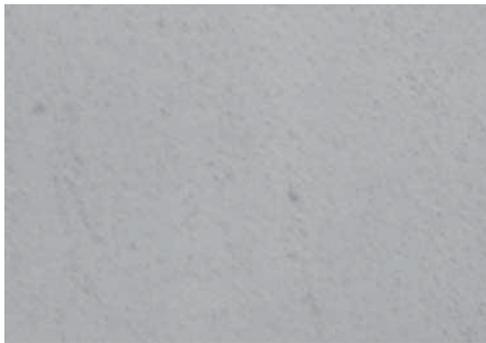
Tabela 4.1: Índices Físicos da rocha limestone Mondorè.

Massa específica seca (kg/m ³)	2,27
Massa específica saturada (kg/m ³)	2,38
Porosidade (%)	11,24
Absorção d'água (%)	4,96

Pode-se observar que a densidade média da referida rocha é da ordem de 2,3 kg/m³ caracterizando-a como um calcário de média densidade, segundo a norma ASTM C 568. Com isso, de acordo com a referida norma, os valores de absorção d'água devem ser menores que 7,5%. Dessa forma, verifica-se que a rocha em estudo está adequada aos valores preconizados.

4.2 Ataque Químico

A tabela 4.2 apresenta os resultados macroscópicos do ataque químico nas peças de rocha em estudo. Pode-se verificar na coluna da esquerda a rocha sem o ataque de reagentes químicos e na coluna da direita após sofrerem o ataque de cada substância.

Tabela 4.2: Aspectos macroscópicos da rocha após ataque químico.

SEM ÁCIDO CÍTRICO



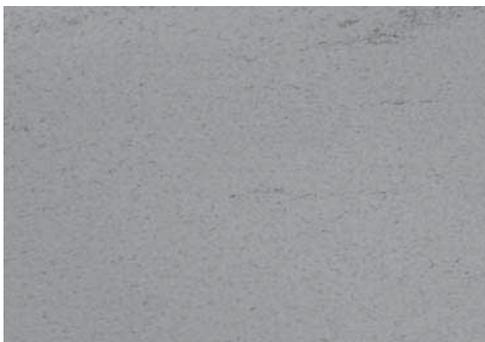
COM ÁCIDO CÍTRICO



SEM SABÃO EM PÓ



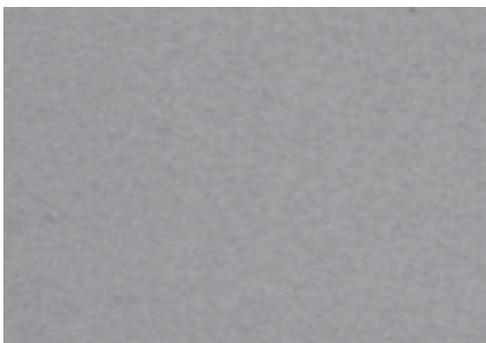
COM SABÃO EM PÓ



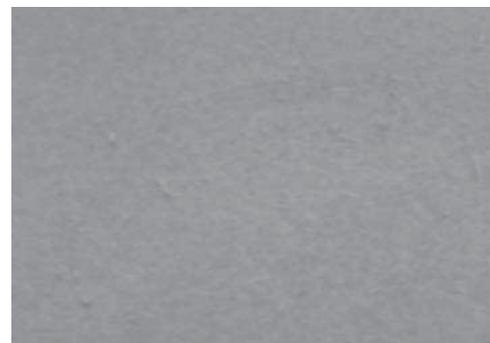
SEM CERA TACOLAC



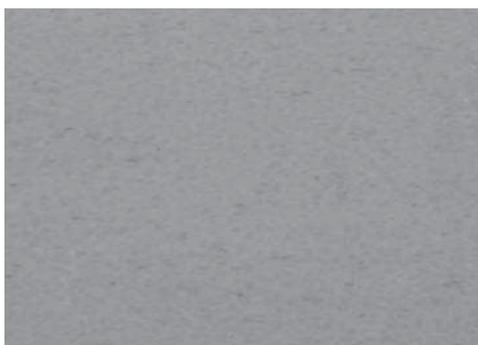
COM CERA TACOLAC



SEM ÁCIDO SULFÚRICO



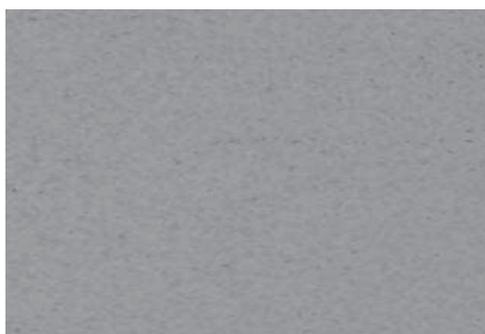
COM ÁCIDO SULFÚRICO



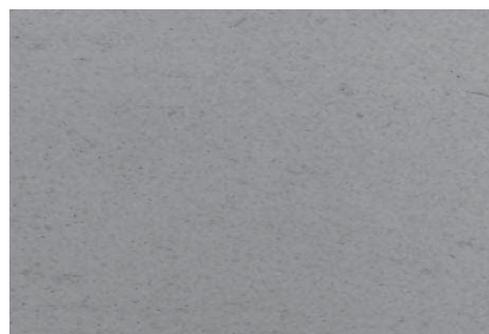
SEM AGUARRÁS



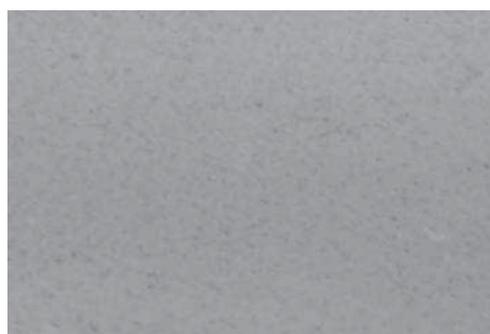
COM AGUARRÁS



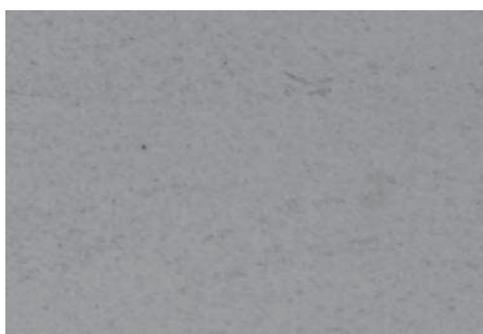
SEM HIPOCLORITO DE SÓDIO



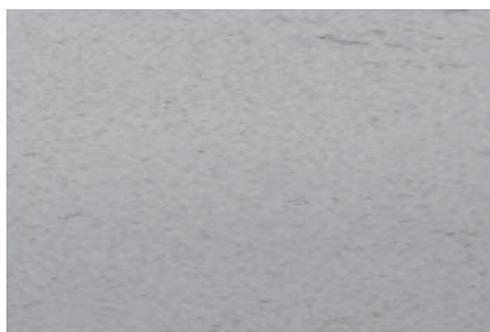
COM HIPOCLORITO DE SÓDIO



SEM ÁGUA SNITÁRIA



COM ÁGUA SANITÁRIA



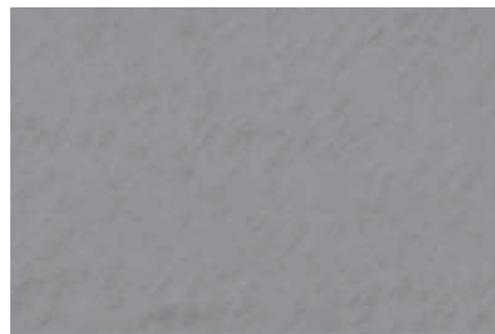
SEM ÁCIDO CLORÍDRICO



COM ÁCIDO CLORÍDRICO



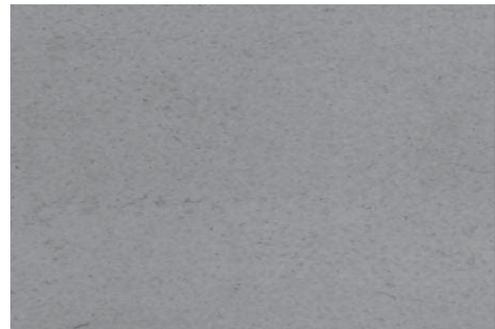
SEM ÁGUA OXIGENADA



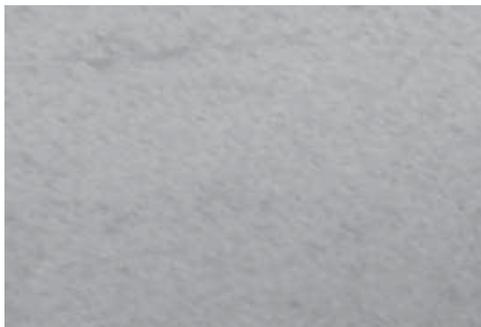
COM ÁGUA OXIGENADA



SEM CLORETO DE AMÔNIO



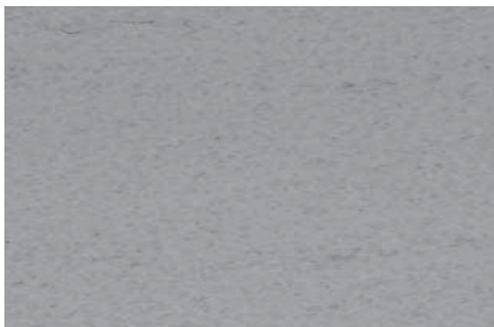
COM CLORETO DE AMÔNIO



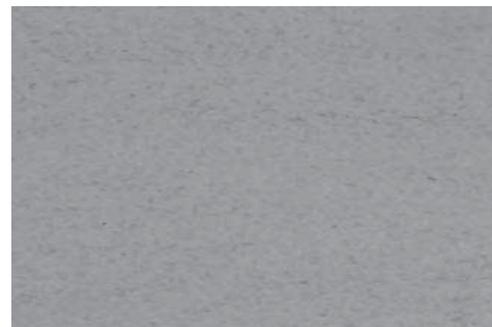
SEM HIDRÓXIDO DE SÓDIO



COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO



SEM SAPÓLIO RADIUM



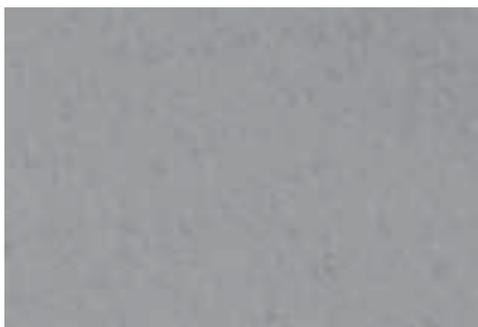
COM SAPÓLIO RADIUM



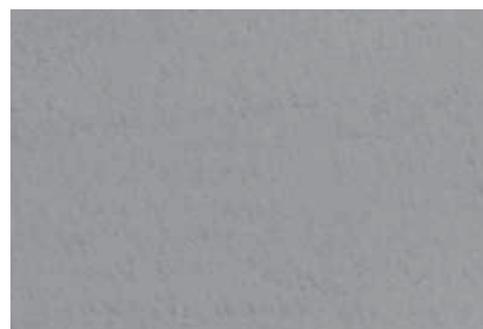
SEM VEJA



COM VEJA



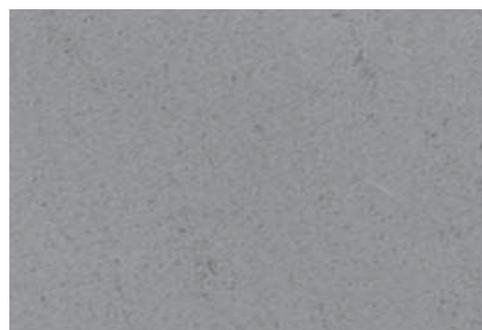
SEM ÁLCOOL ETÍLICO



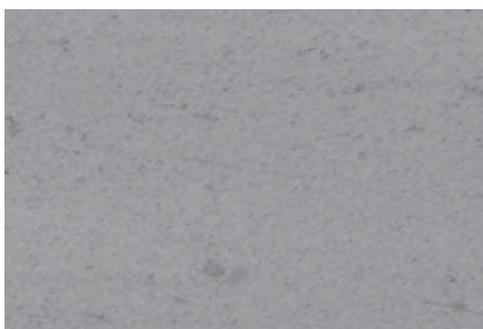
COM ÁLCOOL ETÍLICO



SEM SODA CÁUSTICA



COM SODA CÁUSTICA



SEM AJAX



COM AJAX



SEM SABÃO EM PASTA



COM SABÃO EM PASTA

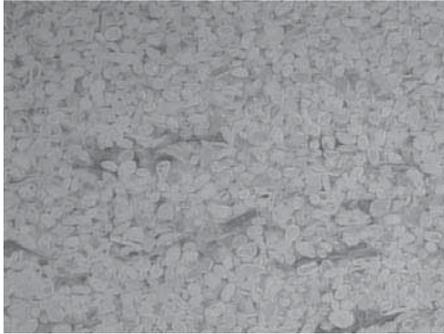


SEM REMOVEDOR TINER

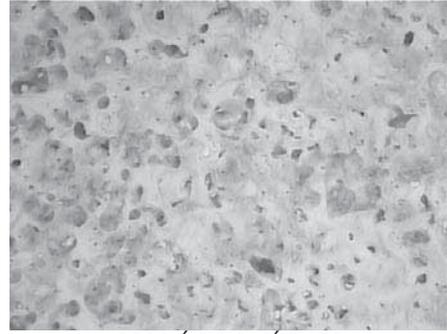


COM REMOVEDOR TINER

A tabela 4.3 apresenta os resultados do ataque químico, em lupa binocular, com um aumento de duas vezes da amostra original. Pode-se observar de forma mais detalhada que a rocha apresenta granulometria fina e textura granular. Pode-se observar o comportamento da mesma após a ação de cada reagente.

Tabela 4.3: Aspectos microscópicos da rocha antes e após ataque químico.

AO NATURAL



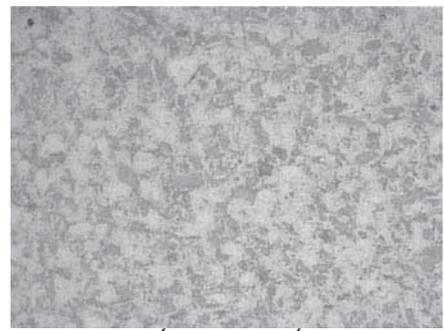
COM ÁCIDO CÍTRICO



COM CERA TACOLAC



COM SABÃO EM PÓ



COM ÁCIDO SULFÚRICO



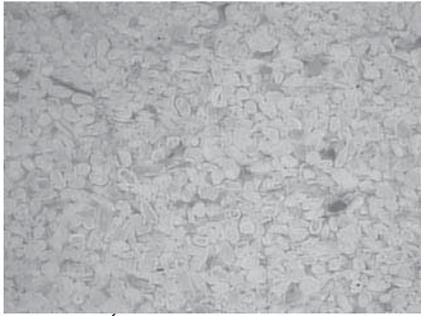
COM AGUARRÁS



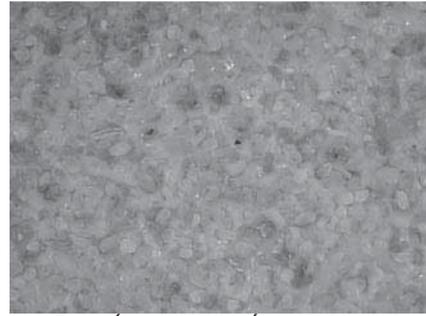
COM HIPOCLORITO DE SÓDIO



COM ÁGUA SANITÁRIA



ÁGUA OXIGENADA



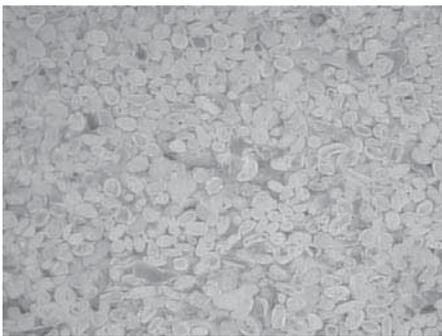
ÁCIDO CLORÍDRICO



HIDRÓXIDO DE SÓDIO



CLORETO DE AMÔNIO



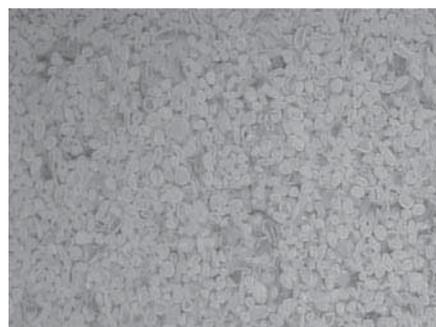
VEJA



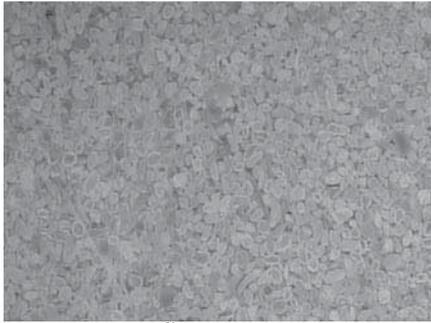
SAPÓLIO RADIUM



SODA CÁUSTICA



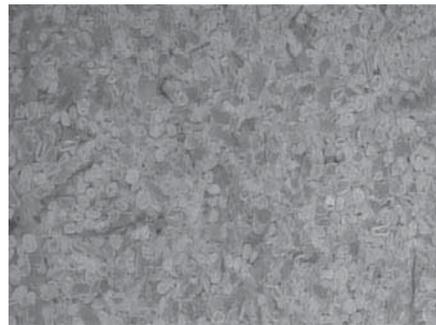
ÁLCOOL ETÍLICO



SABÃO EM PASTA



AJAX



TINER

Por meio da tabela 4.4 pode-se verificar as principais observações a respeito das alterações sofridas pela rocha após o contato com os reagentes químicos.

Tabela 4.4: Observações sobre as alterações sofridas pela rocha.

Reagentes	Modificações observadas
1. Ácido Cítrico	Desestruturação da rocha e liberação de pó. Comprovação na análise microscópica
2. Sabão em pó	Aparecimento de manchas
3. Cera TACOLAC	Não se observou alteração
4. Ácido Sulfúrico	Surgimento de mancha e destruição da estrutura da rocha, com liberação de pó. Comprovação na análise microscópica
5. Aguarrás	Aparecimento de manchas
6. Hipoclorito de Sódio	Aparecimento de manchas
7. Água sanitária	Não houve alteração
8. Ácido Clorídrico	Surgimento de mancha e destruição da estrutura da rocha, com liberação de pó. Comprovação na análise microscópica
9. Água Oxigenada	Não houve alteração
10. Cloreto de Amônio	Aparecimento de manchas
11. Hidróxido de Sódio	Aparecimento de manchas
12. Sapólio Radium	Não houve alteração
13. VEJA	Não houve alteração
14. Álcool Etílico	Não houve alteração
15. Soda Cáustica	Aparecimento de manchas
16. AJAX	Não houve alteração
17. Sabão em pasta	Não houve alteração
18. Removedor Tiner comercial	Aparecimento de manchas

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os ácidos são reagentes responsáveis pelo manchamento e destruição da estrutura da rocha havendo liberação constante de pó. Possivelmente, produtos de limpeza que contenham ácidos em suas composições serão responsáveis pela degradação da rocha.

Em termos de solventes orgânicos, como tiner e aguarrás, observou-se que os mesmos são responsáveis pelo manchamento da rocha. São responsáveis também pelo manchamento da rocha, sabão em pó, hipoclorito de sódio, que é o componente principal da água sanitária, cloreto de amônio, que é o componente principal de limpadores de piso, como AJAX, hidróxido de sódio, que é o componente principal da soda cáustica.

O não aparecimento de manchas após contato com água sanitária e AJAX, apesar dos mesmos serem produtos que contenham reagentes que apresentaram manchas, pode estar relacionado com a diluição dos mesmos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, NBR 12.766/92: rochas para revestimento, determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente, Rio de Janeiro.

Frasca, M. H. B. O., Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CAPÍTULO 12

ROCHAS ORNAMENTAIS: TERMINOLOGIA E CRITÉRIOS DE PROSPECÇÃO

Jorge Manuel F. Carvalho¹

INTRODUÇÃO

As metodologias e técnicas de prospecção geológica têm evoluído ao longo dos tempos acompanhando a evolução do conhecimento técnico-científico, em particular nas áreas respeitantes aos recursos minerais metálicos e hidrocarbonetos. São as mais valias inerentes à descoberta deste tipo de jazigos que justificam os avultados investimentos na prospecção, despoletando, concomitantemente, o desenvolvimento e evolução dessas metodologias que hoje se mostram indispensáveis e altamente sofisticadas, fazendo uso de técnicas geológicas, geofísicas e geoquímicas.

Num campo oposto podemos situar o que se passa relativamente aos chamados recursos em rochas e minerais industriais e de forma mais particular, o que se passa relativamente aos recursos utilizados como materiais de construção. Com efeito, sendo matérias-primas em geral comuns na natureza e ocorrendo a baixas profundidades a sua disponibilidade é muito grande. Não carecem, portanto, de avultados investimentos ao nível da prospecção, nem o permitem dado o seu baixo valor económico. Como consequência, não têm sido desenvolvidas metodologias de pesquisa adequadas a este tipo de recursos, adoptando-se, genericamente, as aplicadas ao sector dos recursos minerais metálicos, em particular aos de tipo filoneano.

Dos materiais de construção, o sector das rochas ornamentais é, porventura, aquele que maior semelhança denota com o sector dos minérios metálicos. Essa semelhança decorre das suas especificidades geológicas em termos de tipo e modo de ocorrência das jazidas e do maior valor económico da matéria-prima quando comparado com o dos restantes materiais de construção. Contudo, embora a ocorrência e localização dessas jazidas não resulte do acaso, estando dependente de factores estritamente geológicos, pouco se tem evoluído na investigação e desenvolvimento das metodologias e ferramentas de prospecção geológica particularmente dirigidas aos recursos em rochas ornamentais, sendo escassa a literatura sobre o assunto.

¹ Geólogo, Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Apartado 7586, 2720-866 Alfragide, Portugal
E-mail: Jorge.carvalho@ineti.pt

DEFINIÇÕES E ÂMBITO DE UTILIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Rochas Ornamentais/Pedras Naturais/Pedras Dimensionais

As Rochas Ornamentais representam um sector da actividade extractiva que pela tipologia das empresas que nele funcionam, apresenta um vínculo muito directo com a actividade comercial dessas mesmas empresas. Assim se compreende que o próprio nome Rochas Ornamentais não seja consensual como designação do sector, sendo comum outras designações, nomeadamente, sector das Pedras Naturais e sector das Pedras Dimensionais. Esta questão da terminologia tem sido alvo de debate desde há uns anos a esta parte, em particular, de modo formal, no âmbito da Comissão C10 – Pedras de Construção e Rochas Ornamentais (*Building Stones and Ornamental Rocks*) da Associação Internacional da Engenharia Geológica e Ambiente (IAEG – *International Association for Engineering Geology and the Environment*). Uma nota recente acerca deste assunto foi recentemente publicada por Shadmon (2005), presidente dessa Comissão, onde se apresenta uma retrospectiva da terminologia que tem vindo a ser utilizada para o sector em causa.

Embora efectivamente nada mais seja que uma questão de terminologia é um assunto que merece alguma atenção, pois tem alguma relevância no que respeita ao modo como o sector é encarado por interlocutores internos e externos. Estão no primeiro caso os interlocutores de âmbito económico e comercial, como a banca, os prescritores (arquitectos, engenheiros civis, entre outros) e o público em geral enquanto na qualidade de aquisidor. Importa, para este tipo de interlocutores, que não subsistam dúvidas quanto à identificação do sector em causa e portanto, quanto à identificação da natureza do material a utilizar, eventualmente decorrendo daí mais-valias económicas. Quanto aos interlocutores externos ao sector, há que contar fundamentalmente com a sociedade em geral e no modo como é encarada a indústria extractiva pela opinião pública e contar, ainda, com as entidades com responsabilidade ao nível da gestão dos recursos geológicos, do ordenamento do território, defesa ambiental, etc. Perante estes importa que este sector da indústria extractiva se mostre bem consolidado e uno no modo de encarar o objecto que constitui o suporte à sua actividade comercial. Identificada a natureza e função do material e havendo a sua procura no mercado, tem de ser do conhecimento geral que ele se obtém pela actividade extractiva e unicamente nos locais onde ocorre, o que é função de um processo natural não controlável pelo Homem.

O sector beneficiaria, portanto, de uma harmonização quanto à terminologia. Nesse sentido importa uma abordagem breve às designações principais que têm sido atribuídas a este sector e às rochas (ou pedras) em si mesmas.

A designação Pedras Dimensionais corresponde a uma adaptação de *dimension stones*. É de utilização muito comum nos países anglo-saxónicos e foi, talvez, a primeira designação a ser atribuída a este sector, tendo sido utilizado pela primeira vez por Bowles & Coons. (1933) a fim de o distinguir do sector das rochas utilizadas como agregados para a construção civil. A distinção feita por este autor e posteriormente desenvolvida por Currier (1960) e Barton (1968), está na origem da norma ASTM C 119 – *Standard Terminology Relating to Dimension Stone*. Esta mostra-se muito vinculada às especificidades de forma e tamanho do produto final, sendo as rochas essencialmente consideradas como materiais com uma função estrutural na construção de edifícios.

A designação Pedras Naturais surgiu recentemente no seio dos países produtores de origem latina, sendo eminentemente uma designação em contraponto aos produtos cerâmicos e em particular, aos aglomerados resinosos de pedra. Pretende valorizar comercialmente o facto de se tratar duma matéria-prima "tal e qual", natural, em que a intervenção de processos de transformação é mínima, ao contrário do que se passa no sector cerâmico. Pondo de lado a questão semântica da designação, já que sendo pedra é forçosamente natural, não parece que este sector possa ou deva entrar em competição com o cerâmico no mercado em que este actua, pois trata-se de um sector evoluído e extremamente agressivo do ponto de vista comercial e de marketing. Há que diferenciá-lo nesses e noutros termos de forma a dirigi-lo a um outro tipo de mercado.

Neste contexto a designação Rochas Ornamentais parece-nos a mais adequada pois tanto serve os objectivos de natureza comercial como do fim a que se destinam. Com efeito, ao termo Ornamental está implícita uma mais valia económica em termos comerciais mas, simultaneamente, este termo explicita o fim a que se destina a matéria-prima, em contraponto aos restantes materiais de construção. Assim, de acordo com este conceito e dum modo extremamente simples, **as rochas ornamentais podem ser definidas como a matéria-prima de origem mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente decorativas.** Cabem neste âmbito todos os tipos rochosos extraídos e processados segundo as mais variadas dimensões e formas, desde os pequenos cubos utilizados no calcetamento de ruas, até às finas placas de rochas xistentas usadas em revestimentos, passando, como é óbvio, pelos grandes blocos destinados à obtenção de chapas para revestimentos diversos, estatuária, pedras tumulares, etc.

A função decorativa atribuída às Rochas Ornamentais constitui o cerne desta definição. Se no passado a utilização das rochas teve essencialmente uma função de estruturação das edificações, desde as primeiras habitações e fortificações feitas em pedra pelo Homem até palácios e outros monumentos bem mais recentes, a realidade mostra-nos que nos dias de hoje a pedra perdeu essa função para o ferro, para o tijolo, para as argamassas em revestimentos e para outros produtos de substituição. Actualmente usam-se as pedras fundamentalmente em função das suas potencialidades decorativas, ornamentais. As capacidades estruturantes que lhes estão associadas são aproveitadas apenas pontualmente ou de modo secundário

As variedades ornamentais

O forte vínculo com a actividade comercial está também marcado no grande número e diversidade de nomes atribuídos às diversas variedades comercializadas e ainda no modo de classificação dessas variedades.

Tradicionalmente distinguem-se dois grandes grupos de rochas ornamentais, nomeadamente, os mármore e os granitos ou, mais recentemente, mármore, granitos e outras, em que neste último grupo é comum enquadrar os "xistos", os quartzitos e arenitos. De acordo com estas classificações, os calcários são englobados no grupo dos mármore e sob a designação de granitos é englobada uma grande variedade de rochas ígneas, desde os granitos propriamente ditos, aos sienitos, gabros, dioritos e gneisses.

Se em termos de características físico-mecânicas e portanto, em termos de campo de aplicação, é admissível a inclusão num só grupo duma grande variedade de rochas como a que é

reportado ao grupo dos granitos, já no que respeita ao grupo dos mármore não nos parece adequado a inclusão dos calcários. Com efeito, é bem marcada a diferença entre mármore e calcários, não só em termos das suas características físico-mecânicas, como também em termos das suas características estéticas, já para não falar no facto de que os calcários representam uma das principais variedades ornamentais em termos de volume de produção a nível mundial.

Calcários são rochas sedimentares que ocorrem na natureza em sequências de bancadas de espessura variável e separadas por planos de descontinuidade. Sendo constituídas essencialmente pelo mineral calcite, apresentam texturas muito diversas em função da natureza, tamanho e percentagem dos elementos clásticos que as constituem, do tipo de cimento que os aglomera e do seu grau de aglutinação. Os mármore resultam da actuação de fenómenos metamórficos sobre os calcários, sendo constituídos fundamentalmente por calcite neoformada e em que há uma obliteração geral, mais ou menos intensa, dos aspectos texturais de origem sedimentar.

Pelo exposto, parece-nos mais adequado, mesmo do ponto de vista comercial, a distinção apresentada por Langer (2001) para as Rochas Ornamentais dos seguintes grupos: o grupo dos granitos, dos calcários, dos mármore, das ardósias (ou "xistos") e o dos quartzitos e arenitos.

Âmbito de utilização das Rochas Ornamentais

Do mesmo modo que para os restantes materiais de construção, das características tecnológicas da Rochas Ornamentais depende o modo e âmbito da sua aplicação. Assim, em função das propriedades físico-mecânicas e químico-mineralógicas que actualmente são avaliadas laboratorialmente, decorrem restrições à sua utilização, em particular no que respeita a aplicações em interiores *versus* aplicações em exteriores e em edifícios públicos *versus* habitações privadas. A título de exemplo, em regiões do globo caracterizadas por elevadas amplitudes térmicas e temperaturas negativas, as variedades ornamentais com fraca resistência no ciclo de ensaios gelo-degelo não devem ser aplicadas em revestimentos exteriores. Tal não invalida, contudo, que possam ser aplicadas em revestimentos interiores. Também o facto de uma variedade ornamental com fraca resistência ao desgaste não dever ser aplicada em pavimentos sujeitos a elevados índices de movimento pedonal, como é o caso de muitos edifícios públicos, não invalida a sua aplicação em locais em que esse índice seja baixo.

Servem estas considerações para demonstrar que a ponderação dum determinado tipo litológico como Rocha Ornamental não depende das suas propriedades tecnológicas ou, mais concretamente, não depende dos parâmetros usualmente avaliados em laboratório e que têm em vista definir o âmbito da sua aplicação. Assim, essas propriedades não são factores a considerar durante a fase de prospecção geológica.

Ainda no âmbito da utilização das rochas ornamentais há a considerar o seu aspecto estético, não fosse esse o factor intrínseco ao fundamento da sua utilização como material de construção com funções decorativas. Deste modo, a estética ou beleza dum determinado tipo litológico é condicionadora da sua utilização como rocha ornamental. Daqui decorre que essa beleza ornamental é um factor importante a ter em conta na fase de prospecção geológica, mesmo sendo um factor com uma forte carga subjectiva. No entanto, este factor estético resulta da percepção conjunta dum conjunto de critérios dos quais se destacam a cor, a textura

e a existência ou não de descontinuidades. São critérios cuja avaliação deve unicamente basear-se numa observação a “olho-nú” e que no seu conjunto dão o grau de homogeneidade da rocha.

A cor é um critério dependente da moda. No entanto, a utilização histórica das Rochas Ornamentais mostra uma preferência generalizada por rochas de tons claros (brancos, cremes, etc.) quando em grandes superfícies. A preferência por rochas de tons intensos (rosas, azuis, vermelhos, negros, etc.) tem estado reservada, fundamentalmente, a pequenas superfícies e a objectos e peças de decoração.

A textura, ou seja, a dimensão e modo de disposição dos elementos constituintes das rochas, é um critério também muito dependente da moda. Esses elementos tanto podem ser grãos minerais como grãos líticos, por vezes de grandes dimensões (as rochas conhecidas como *brechas*), o que acaba por ser também um critério estético.

As descontinuidades podem ser de vários tipos, sendo as mais comuns a existência de veios minerais e as variações laterais de fácies as quais, num mesmo tipo litológico, se traduzem fundamentalmente por variações de cor e textura.

Assim, a homogeneidade, vista como a percepção conjunta do aspecto estético da rocha em função da sua cor, textura e descontinuidades presentes, é uma característica com uma carga subjectiva menor que a daquelas de que depende porque embora sujeita à moda e ao gosto de cada um pode, de algum modo, ser avaliada quantitativamente em termos de maior ou menor homogeneidade. Por outro lado, a importância fundamental deste parâmetro reside no facto de nele se basear, pelo menos parcialmente, o dimensionamento da jazida: um determinado volume de rocha em que se verifica uma homogeneidade de características.

É ainda comum associar a aptidão ornamental das rochas ao maior ou menor grau de polimento que admitem, o que é função da sua composição mineralógica e textura. No entanto, actualmente, é cada vez mais usual a aplicação de revestimentos de rochas ornamentais que não sofreram qualquer tipo de polimento, pelo que esse critério deve ser considerado como secundário.

PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

É escassa a literatura respeitante às metodologias de investigação das rochas ornamentais, em particular no que respeita à sistematização das metodologias de prospecção. O *Manual de Rocas Ornamentales*, editado por Jimeno *et al.* (1996) e *Stone: Building stone, rock fill, and armourstone in construction*, editado por Smith (1999), são talvez as obras onde de forma mais completa se aborde esse assunto. Nestas obras são apresentadas sistematizações das etapas de investigação tendentes à revelação e avaliação de jazidas de rochas ornamentais, desde a compilação inicial de informação, ao projecto de abertura duma pedreira. Em termos muito sintéticos e não diferindo genericamente da metodologia a adoptar para a investigação de qualquer outra matéria-prima mineral, essas etapas compreendem:

- Etapa 1: Compilação de informação e planificação dos trabalhos,
- Etapa 2: Reconhecimento geológico geral e selecção de áreas com interesse,
- Etapa 3: Caracterização e valorização das áreas seleccionadas,

- Etapa 4: Caracterização detalhada das jazidas,
- Etapa 5: Projecto de exploração.

Com base nestas obras e nas propostas de Muñoz de la Nava *et al.* (1989), Harben & Purdy (1991), Casal Moura *et al.* (1995), García (1996) e Selonen *et al.* (2000), a tabela I apresenta uma compilação sintética dos critérios a ter em consideração nas diferentes etapas. De realçar que todos estes autores atribuem um maior ou menor grau de importância aos resultados de ensaios avaliadores das propriedades físico-mecânicas das rochas para a tomada de decisão sobre a sua viabilidade em termos de aptidão ornamental. Já o estado de fracturação dos maciços rochosos é um parâmetro a que atribuem importância fundamentalmente ao nível da fase de exploração.

Tabela I: Principais aspectos a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais

Morfologia	Limites Espessura e variações de espessura Variações de fácies Carsificação
Estrutura	Estratificação, clivagens, xistosidades, lineamentos, etc. Falhas e fracturas dobramentos
Fracturação	Famílias direccionais Espaçamento entre famílias Densidade de fracturação
Metamorfismo	Tipo Zonação Mineralogia
Características litológicas	Composição mineralógica e química Cor Granulometria Textura Recristalizações, <i>Schlieren</i> , encraves, fósseis, etc. Homogeneidade (cor, textura, fósseis, e outras descontinuidades) Oxidações e outras alterações Propriedades físico-mecânicas (absorção de água, peso específico, resistência à compressão e à flexão, etc.)
Explorabilidade	Reservas Acessibilidade (topografia, acessos, distância aos centros consumidores, zonas de defesa e protecção ambiental) Espessura de camada de alteração e dos depósitos de cobertura Impacto ambiental Infraestruturas industriais Actividade extractiva instalada Aceitação no mercado

CRITÉRIOS DE DECISÃO

Na sequência das actividades de investigação geológica aplicada à prospecção de rochas ornamentais que o autor tem desenvolvido, a experiência tem demonstrado que os factores de carácter decisivo para a viabilidade dum maciço rochoso para a produção de rochas ornamentais estão relacionados unicamente com o dimensionamento e homogeneidade das unidades geológicas e seu estado de fracturação (Tabela II). Todos os restantes critérios de índole geológica que constam da Tabela I, assumem um papel secundário quando abordados a nível individual porque não são factores de exclusão. Não se pretende com isto dizer que não importa considerar tais critérios nas diferentes etapas de investigação. A sua importância verifica-se, fundamentalmente, ao nível da qualificação das rochas e portanto, ao nível do seu maior ou menor valor comercial e âmbito de aplicação. A título de exemplo, uma rocha não deixa de ser ornamental em função da sua cor porque esse é um critério estético dependente da moda. Também não deixa de ser ornamental em função da sua capacidade de resistência à flexão porque esse é um critério qualificador do âmbito da sua aplicação. Já os factores relacionados com as características do local de ocorrência dos depósitos podem inviabilizar a exploração do recurso, mas são factores extrínsecos ao próprio recurso. A exploração de uma jazida situada num local remoto pode não ser viável economicamente numa determinada altura mas, modificando-se as condições de mercado e/ou de acessibilidade, a situação pode reverter-se.

Tabela II: Critérios de decisão na prospecção de Rochas Ornamentais

DIMENSIONAMENTO	HOMOGENEIDADE	ESTADO DE FRACTURAÇÃO
Espessura das unidades produtivas (bancada sedimentar, fácies metamórfica, etc.). Volume total do depósito.	Cor Textura Descontinuidades	Direcções preferenciais Frequência Densidade Intensidade Tipo e morfologia das fracturas

A cartografia geológica e o levantamento do estado de fracturação dos depósitos são as duas ferramentas básicas para a avaliação destes critérios de decisão. A cartografia geológica temática, com um forte apoio das técnicas da geologia estrutural e de dados de sondagens com recuperação contínua de testemunho, revela-se como ferramenta fundamental no que respeita à revelação e avaliação dos dados intrínsecos ao dimensionamento e qualificação em termos de homogeneidade dos depósitos. Já no que respeita à avaliação do estado de fracturação dessas jazidas, assume importância primordial o levantamento "in situ" dos dados de fracturação, a que as metodologias de detecção remota e geofísicas poderão prestar forte apoio.

A cartografia geológica temática

A cartografia geológica aplicada à prospecção de rochas ornamentais deve estar vocacionada para a identificação, delimitação e caracterização de áreas com aptidão para rocha ornamental. A essas áreas deverá corresponder a existência de uma ou mais unidades geológicas em que se verifique uma homogeneidade de características litológicas e cuja espessura e volume total permitam a obtenção de blocos com dimensões comercializáveis por um determinado período de tempo. Esta cartografia deverá, portanto, fazer uso de alguns conceitos e terminologia pouco usuais numa cartografia geológica clássica mas que se revelam fundamentais ao fim em vista. Há que ter em apreço os seguintes aspectos: escala, litologia, estrutura geológica e convenções e terminologia a utilizar.

Dependendo da etapa de trabalho, do tipo de litologias presentes e da complexidade estrutural da região em causa, diferente será a **escala** de execução da cartografia geológica. Assim, na fase de reconhecimento geral deverá fazer-se uso de escalas regionais que poderão variar de 1/100 000 a 1/25 000, consoante o grau de conhecimento existente sobre a região. Na fase intermédia de prospecção, ou seja, aquela que se destina ao reconhecimento e avaliação dos grandes alvos seleccionados na etapa anterior, a cartografia a executar deverá ser à escala 1/10 000 ou 1/5 000. Tal depende, fundamentalmente, das litologias presentes e deverá contar com o apoio de sondagens de reconhecimento. Desta fase resultará a delimitação de áreas alvo mais restritas para eventual localização de unidades de exploração. A sua avaliação deverá ser feita com base numa cartografia à escala 1/2000 a 1/500 e fortemente apoiada em dados de sondagens. O número de sondagens a realizar nesta fase estará dependente da dimensão da área, da homogeneidade litológica e da complexidade estrutural.

A **litologia** é o aspecto principal a considerar na cartografia geológica de temática vocacionada para as rochas ornamentais. Há que ter em conta a natureza sedimentar, ígnea ou metamórfica das rochas no que respeita a um adequado conhecimento das condições geológicas que presidem à eventual ocorrência de jazidas de rochas ornamentais. A título de exemplo e para o caso das rochas sedimentares, um adequado conhecimento das condições paleogeográficas que presidiram à sua deposição numa dada região poderá permitir a previsão de locais onde terão ocorrido condições favoráveis ao desenvolvimento de bancadas espessas. Por outro lado e com base nesse conhecimento será possível uma selecção e atribuição de importância aos critérios constantes das Tabelas 1 e 2. Com efeito e também a título de exemplo, se a presença, dimensão e disposição de fósseis em rochas sedimentares são critérios a ter em apreço, por poderem constituir um elemento de elevada qualidade estética, na cartografia de rochas graníticas tais critérios não são aplicáveis. No entanto, há que ter em conta que a apreciação dos critérios constantes da Tabela 2 é fundamental para todos os tipos litológicos.

O conhecimento da **estrutura geológica** da jazida é fundamental ao seu dimensionamento, pelo que a cartografia geológica deve ser, essencialmente, uma cartografia litoestrutural. Deverão ser tomados em consideração todos os critérios e técnicas de análise estrutural que permitam o estabelecimento dum modelo estrutural do depósito. Em particular e em função da complexidade estrutural da região em causa, é importante ter em atenção os dados relativos à orientação dos planos de estratificação, clivagens, xistosidades, lineações e os relativos à orientação e tipo de fracturas e dobramentos eventualmente presentes. A estrutura

geológica tanto pode ser um factor condicionador como promotor da ocorrência de jazidas de rochas ornamentais, pretendendo a figura 1 representar um caso paradigmático de tal situação.

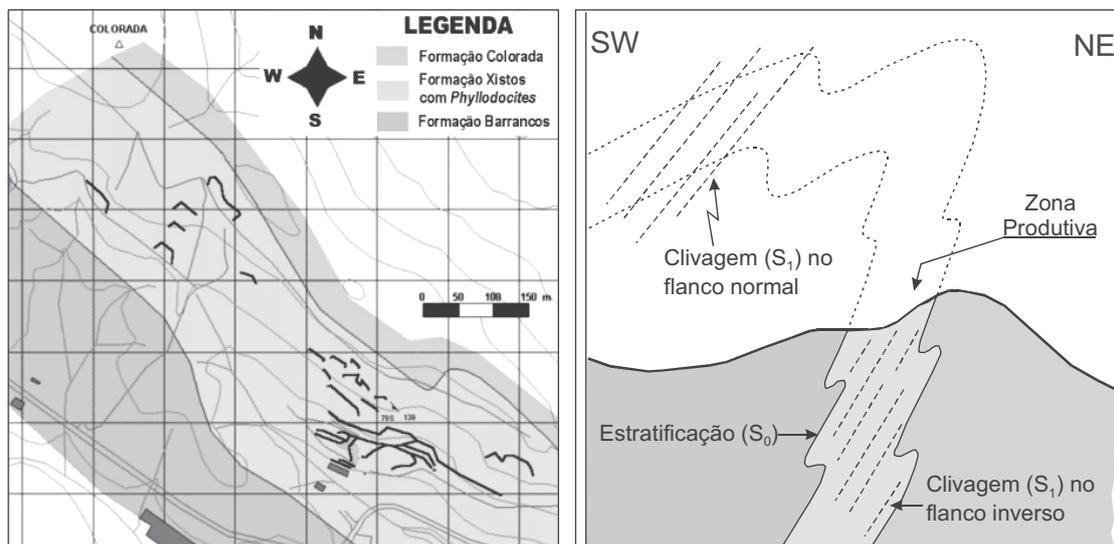


Figura 1- Cartografia geológica e corte esquemático na área produtora de xistos ornamentais na região de Barrancos. A obtenção de placas de xisto com grandes dimensões só é possível no flanco inverso da estrutura anticlinal pelo paralelismo entre estratificação e clivagem xistenta (adaptado de Carvalho & Falé, 2002)

No que respeita às **convenções e terminologia**, a cartografia geológica deverá fazer uso de simbologia apropriada de modo a que seja fácil a identificação e caracterização das áreas com maior interesse, bem como das variedades ornamentais existentes (em detrimento duma terminologia puramente científica).

Avaliação do estado de fracturação

Métodos Directos

Os métodos directos para a apreciação do estado de fracturação dos maciços rochosos são uma ferramenta indispensável na prospecção de rochas ornamentais. Baseiam-se na caracterização e medição da atitude das fracturas "in situ" pelo que o seu modo de execução depende da dimensão da área a prospectar e das suas características em termos das litologias presentes e da forma, tamanho e disposição dos afloramentos. Destes condicionalismos depende o método a adoptar, sendo que os diferentes métodos diferem entre si, basicamente, no modo de inventariação e no posterior tratamento e análise dos dados.

Os modos de inventariação mais comuns baseiam-se no inventário de todas as fracturas englobadas numa dada área (circular ou quadrangular) ou abrangidas por uma determinada linha de amostragem (*scanline*). As dimensões a adoptar para a área ou para a *scanline* dependem muito duma avaliação preliminar subjectiva do espaçamento entre fracturas duma mesma família e da área disponível. Aqui há que ter em conta o tipo ou tipos litológicos em

que as fracturas ocorrem pois o estado de fracturação dos maciços rochosos não depende unicamente da orientação e intensidade do campo de tensões, ou mesmo da maior ou menor proximidade a acidentes maiores com os quais podem estar ou não relacionadas geneticamente. Depende também das características reológicas das litologias presentes.

O método de inventário em área adequa-se melhor a medições em afloramentos, ao passo que o método da *scanline* está mais adequado à medição em frentes de desmonte já existentes ou em taludes naturais. O caso particular do inventário de fracturas nos testemunhos de sondagens reporta-se ao método da *scanline* que neste caso acaba por ser o próprio testemunho. De realçar, no entanto, a necessidade de proceder a uma orientação de todos os troços por intermédio de técnicas adequadas ao efeito. A técnica mais expedita consiste na orientação dos troços com base no controle de um determinado parâmetro cuja orientação à superfície seja bem conhecida e que se mostre persistente em profundidade, como por exemplo a estratificação ou uma dada clivagem tectónica.

Tendo como objectivo as rochas ornamentais, as características a que mais importa prestar atenção para a análise descritiva das fracturas são: a direcção e inclinação, o comprimento, a abertura e tipo de preenchimento, o espaçamento entre famílias, a terminação (continuidade) das fracturas e o tipo litológico onde ocorrem. Para cada um dos parâmetros são admissíveis diversas formas de tratamento e apresentação de resultados, sendo comum a conjugação das ferramentas da estatística descritiva com os métodos sugeridos pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978).

Uma das metodologias mais usuais para a avaliação do estado de fracturação dos maciços nas diversas fases de prospecção de rochas ornamentais e que aqui se pretende realçar, assenta na definição de direcções preferenciais de fracturação, como ponto de partida à determinação da frequência ou densidade linear de fracturação. Trata-se dum método cujos resultados são decisivos pois permitem discriminar entre áreas favoráveis e não favoráveis à obtenção de blocos com dimensões economicamente rentáveis. O seu âmbito de utilização difere, assim, do da blocometria que é uma ferramenta mais adequada à etapa final da prospecção, ou seja, à fase de projecto de exploração em que se pretende uma aproximação ao cálculo de rendimento das explorações em função das dimensões e quantidade de blocos extraíveis.

As ferramentas da estatística descritiva estão na base da determinação das classes de orientação preferencial das fracturas e da frequência dessas mesmas classes, sendo comum a apresentação e análise dos resultados em rosas vectoriais ou histogramas de classes (figura 2). Os estereogramas de densidade de pontos revelam-se úteis e indispensáveis para a definição de famílias de fracturas pouco inclinadas.

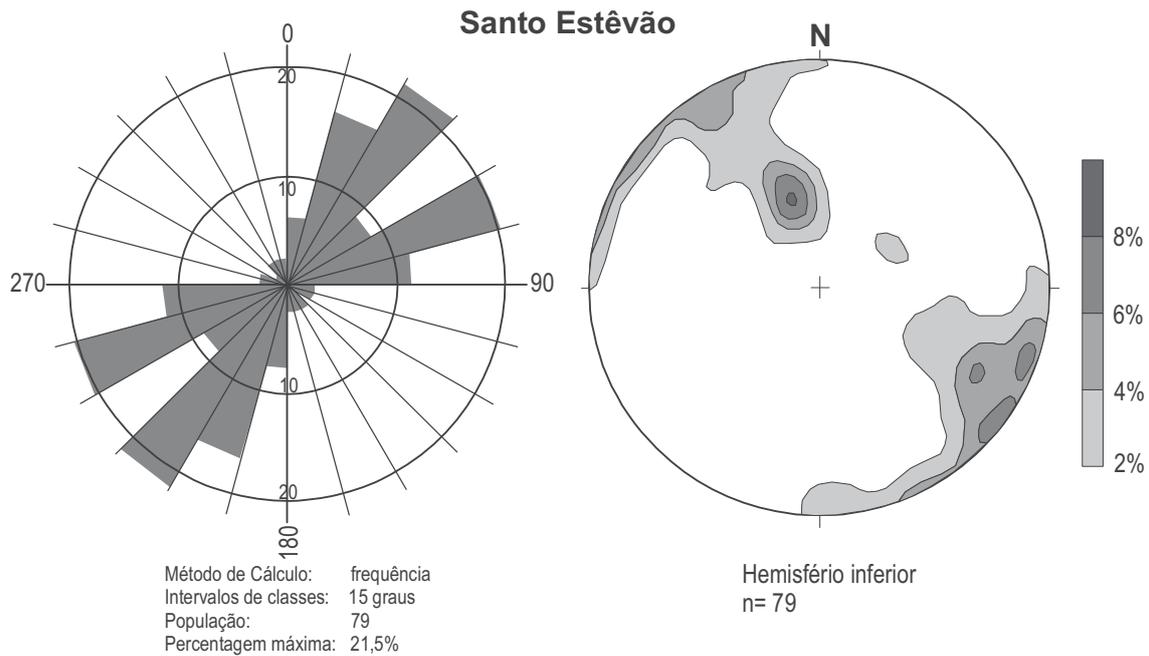


Figura 2- Representação da orientação de fracturas em Rosa Vectorial e Estereograma de Densidade de Pontos relativos à região de Santo Estêvão, Algarve (adaptado de Manupella *et al.*, 2000).

Uma metodologia de desenvolvimento mais recente baseia-se no tratamento geoestatístico dos dados da frequência, ou densidade linear de fracturação, das principais famílias direccionais (Luís, 1995) e que tem como suporte científico as bem desenvolvidas técnicas de cálculo da distribuição de teores em jazigos minerais metálicos em função da distribuição espacial da amostragem. Assim, ao se considerar a densidade linear de fracturação como uma variável regionalizada (Matheron, 1970), ou seja, cujo valor depende da localização espacial mas com um carácter aleatório, este método permite a estimação de valores entre estações de amostragem (Pereira, 1979) e admite a elaboração de mapas representativos da distribuição espacial dos valores da densidade linear de fracturação, como o que se apresenta na figura 3, onde é possível discernir áreas preferenciais face aos valores dessa variável. Esta possibilidade cartográfica tem-se revelado muito útil a nível de planeamento da actividade mineira pois, combinada com a cartografia geológica, permite uma maior aproximação à delimitação de áreas com melhor ou menor aptidão para a produção de rochas ornamentais (figura 4).

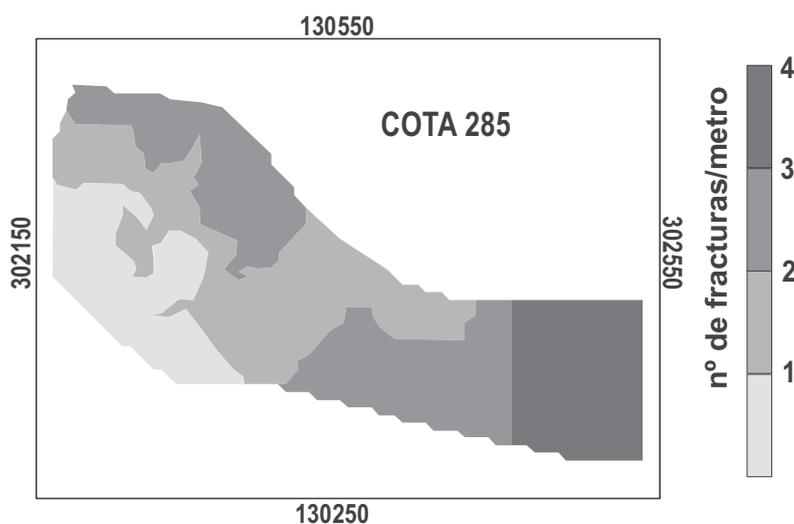


Figura 3- Cartografia dos valores de densidade linear de fracturação à cota 285 m, nas imediações duma pedreira de xistos ornamentais na região de Barrancos (adaptado de Carvalho & Falé, 2002)

Métodos Indirectos

Os métodos indirectos para a avaliação do estado de fracturação dos maciços rochosos têm vindo cada vez mais a ganhar realce na prospecção de rochas ornamentais, mas não invalidando nem substituindo os directos. Entre eles contam-se as técnicas de detecção remota, nomeadamente as imagens de satélite LandSat Tm e as fotografias aéreas, os quais constituem preciosos auxiliares nas etapas de reconhecimento inicial. Para além de fornecerem uma visão global da área sob investigação, a conjugação de ambas as técnicas tem permitido uma cada vez mais detalhada delimitação de áreas mais ou menos fracturadas e a definição de padrões de fracturação a nível regional. Neste capítulo surgiu muito recentemente uma nova ferramenta com capacidades de desenvolvimento e utilização muito grandes. Trata-se da aplicação informática Google Earth™ *mapping service* a qual, fazendo uso de imagens de satélite de alta resolução, permite a simulação de visão tridimensional e a gestão da orientação e ampliação do campo visual. Em muitos casos revela-se uma ferramenta de detecção remota muito eficaz na selecção de áreas alvo em função do estado de fracturação dos maciços.

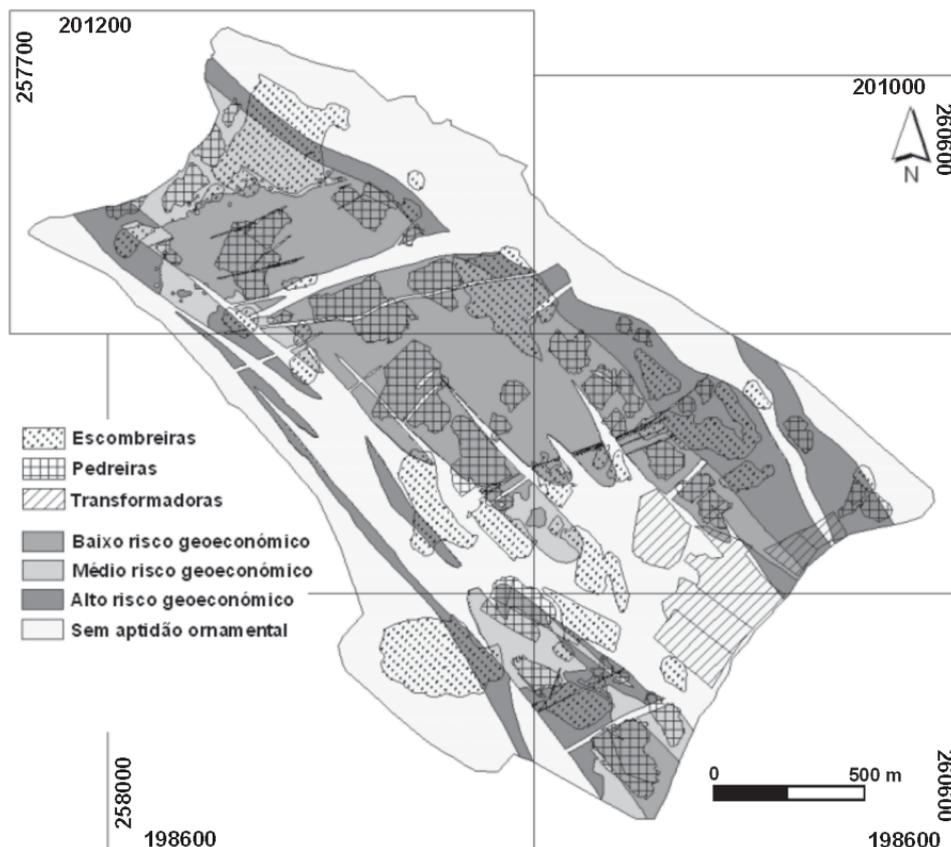


Figura 4 – Carta de Risco Geoeconómica da UNOR 3 – Vigária (Anticlinal de Estremoz) como resultado da combinação de informação lito-estrutural com a distribuição espacial dos valores da densidade linear de fracturação (adaptado de Vintém *et al.*, 2003)

No âmbito das etapas iniciais de reconhecimento de discontinuidades maiores assumem também importância os métodos geofísicos. No entanto, o maior relevo da aplicação destes métodos verifica-se ao nível das fases de investigação mais detalhada, como complemento aos métodos directos de avaliação da fracturação. Entre elas há a considerar os métodos sísmicos em geral, o geo-radar, o VLF-EM/RF-EM (*Radio Frequency – Electromagnetics*) e as tomografias eléctricas e sísmicas. Todos eles têm vantagens e desvantagens ao nível do tipo e detalhe da informação que fornecem, rapidez de execução e custo. Relativamente aos métodos sísmicos importa destacar, pela rapidez e baixo custo de execução, um baseado na realização de perfis sísmicos para obtenção e tratamento estatístico de dados relativos à variação azimutal da velocidade de propagação das ondas sísmicas e da sua forma de onda e que se revela bastante eficaz na determinação do estado de alteração e fracturação das rochas (Carvalho *et al.*, 2000). Em termos de prospecção de rochas ornamentais tem o seu campo de aplicação em todas as fases, merecendo particular destaque a sua utilização em regiões com escassos afloramentos em que os métodos directos são de difícil aplicação. Para além de permitir a avaliação da espessura das camadas de alteração ou de depósitos de cobertura sobre uma dada unidade geológica, fornece também uma imagem do sistema de fracturação que afecta essa unidade.

O método VLF-EM/RF-EM (*Radio Frequency – Electromagnetics*) baseia-se na propagação pelas rochas de ondas rádio de baixa a muito baixa frequência que são emitidas por antenas na

banda dos 12 a 300 kHz. A propagação dessas ondas de rádio origina nas rochas um campo electromagnético secundário dependente da natureza das rochas e que pode ser detectado à superfície, permitindo a obtenção de informações quanto à natureza do meio e suas heterogeneidades: falhas com preenchimento argiloso, paleocanais, carsificação, variações laterais de fácies, etc. (Turberg *et al.* 1992; Carvalho *et al.*, 1999) Trata-se dum método com uma profundidade de investigação relativamente baixa mas de utilização rápida e eficaz em que se utiliza um aparelho protótipo de registo contínuo que pode ser montado em veículos automóveis, permitindo a realização de perfis quilométricos a baixo custo (Muller & Carvalho, 1996; Carvalho *et al.*, 1998). A resolução deste método em termos de aplicação à prospecção de rochas ornamentais condiciona-o à detecção de estruturas maiores e à delimitação de áreas mais ou menos favoráveis em função das heterogeneidades do meio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As rochas ornamentais são um produto natural compatível com uma reciclagem a 100%. No entanto, debatem-se com um problema comum à maioria dos restantes recursos geológicos, ou seja, embora a manutenção dos padrões de vida das sociedades actuais exijam um suprimento contínuo de recursos minerais, o enquadramento da actividade extractiva nos planos de ordenamento territorial continua a ser uma questão problemática, muito por causa dos impactos ambientais que lhe são injustamente apontados, pois na maioria dos casos, confunde-se impacto visual com impacto ambiental. Esta problemática tem sido nos últimos anos alvo de intensa discussão e alerta a nível global, nomeadamente no seio da Comunidade Europeia e em fóruns sob a égide da Organização das Nações Unidas, mas tendo sempre como ponto de partida a actividade extractiva instalada, relegando para segundo plano, ou mesmo omitindo, as acções a montante dessa actividade. Veja-se, a título de exemplo, **Good Environmental Practice In The European Extractive Industry: A Reference Guide** por F. Brodtkom (2000) e a Comunicação da Comissão Europeia Com (2000) 265 - **Promoção do desenvolvimento sustentável na indústria extractiva não energética da UE**. Esta última é paradigmática pois, embora denunciando um baixo investimento em prospecção geológica a nível dos países da União Europeia, aponta como questões prioritárias a prevenção de acidentes na indústria extractiva, a melhoria do desempenho ambiental e a gestão de resíduos e emissões. Mais recentemente, a COM (2005) 670 - **Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais** menciona as crises que têm assolado a União Europeia no que respeita ao abastecimento de matérias-primas, alertando para a necessidade de se manter assegurado esse abastecimento mas focando a estratégia na drástica diminuição do consumo e dos impactos ambientais negativos decorrentes da sua exploração através de uma abordagem ao ciclo de vida dos materiais. Em suma, o enquadramento da actividade extractiva nas questões de ordenamento territorial e de desenvolvimento sustentável, onde se inclui a preservação do bem estar comum é analisado, na maior parte dos casos, unicamente à luz da actividade instalada, deixando como que ao acaso o aparecimento de novas áreas produtoras.

Ora, sabemos que a ocorrência e localização dos recursos geológicos, nomeadamente em rochas ornamentais, não se dá por acaso, sendo governada unicamente por factores geológicos. Sabemos também que a revelação de novas jazidas carece de conhecimentos e metodologias geológicas a tal vocacionadas, não podendo ficar ao acaso em função de actividades empíricas que acabam por se traduzir num deficiente planeamento da actividade

mineira com consequência ao nível do ordenamento do território e da degradação ambiental. A este respeito importa realçar que embora nos últimos anos muito se tenha vindo a investir nos aspectos tecnológicos associados à exploração e transformação de rochas ornamentais, tendo em vista a diminuição da quantidade de resíduos produzidos, a qual se situa na ordem dos 70% do total da matéria-prima extraída, continua a verificar-se uma não diminuição significativa dessa quantidade. Julgamos que tal se deve ao atrás mencionado deficiente planeamento da lavra por falta de um conhecimento adequado das características das jazidas. Sendo este conhecimento função da etapa anterior à lavra mineira, ou seja, função dos conhecimentos adquiridos pela prospecção geológica, urge investir a este nível de forma a inovar metodologias e técnicas.

O trabalho aqui apresentado vem ao encontro destas questões, realçando os critérios decisivos nas etapas de prospecção que têm um peso efectivo na definição e dimensionamento das jazidas de rochas ornamentais, nomeadamente os critérios tendentes à avaliação da dimensão, homogeneidade e estado de fracturação das jazidas. Os factores extrínsecos à definição da jazida, como sejam as características tecnológicas das rochas, a sua beleza, a espessura de depósitos de cobertura, o enquadramento ambiental e paisagístico, as condições de acessibilidade, etc., são factores que condicionam apenas a aplicabilidade dos diferentes tipos de rochas e a viabilidade económica da sua exploração.

REFERÊNCIAS

- Barton, W.R., 1968. Dimension stone. U.S. Bureau of Mines Information Circular 8391, 147 p.
- Bowles O., Coons A.T., 1933. Dimension Stone. In: Minerals Yearbook 1932-33, O. E. Kiessling (Ed.), U. S. Bureau of Mines, United States Government Printing Office, Washington, pp. 577-593
- Brodtkom, F., 2000. Good Environmental Practice In The European Extractive Industry: A Reference Guide. Centre Terre Et Pierre – Belgium.
- Carvalho, J.M.F., Falé, P. 2002. Potencialidades em Xistos de Barrancos nas Imediações da Pedreira do Mestre André. Relatório Interno IGM, Alfragide, 90 p.
- Carvalho, J.P., Lisboa, J.V., Torres, L., Memdes-Victor, L.A., 2000. Rock mass evaluation using in-situ velocity and attenuation measurements. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 5, 15-31.
- Carvalho Dill, A., Dussel, M., Reis, E., Baptista, R., Coimbra, R., Reis, M., 1999. The combined use of electromagnetic methods and tracers to detect preferential groundwater pathways. *Jornadas Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología*. Granada, 10 – 12 Mayo.
- Carvalho Dill, A., Muller, I., Costa, A.M., Monteiro, J.P., 1998. Importância do uso de métodos geofísicos electromagnéticos Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) e radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R) no estudo de Aquíferos Cársicos do Alentejo e do Algarve. *4º Congresso da Água*, Lisboa, 1998.

- Casal Moura, A., Grade, J., Ramos, F., Ferreira, N., 1995. Aspectos metodológicos do futuro e caracterização de maciços graníticos tendo em vista a sua exploração para a produção de rochas ornamentais e industriais. *Boletim de Minas*, vol. 32, nº 1, Lisboa.
- Currier, L.W., 1960. Geologic appraisal of dimension-stone deposits: U.S. Geological Survey Bulletin 1109, 78 p.
- García, E.O., 1996. Investigación de Yacimientos. In *Manual de Rocas Ornamentales – Prospección, explotación, elaboración y colocación* (Jimeno, C. L. ed.), pp. 139-174. Entorno Grafico, S. L., Madrid.
- Harben, P., Purdy, J., 1991. Dimension stone evaluation: from cradle to gravestone. *Industrial Minerals*, February, pp. 47-61.
- ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol 15, nº 6, pp. 319-368.
- Jimeno, C.L., 1996. *Manual de Rocas Ornamentales*. Entorno Grafico, S. L., Madrid, 696 p.
- Langer, W.H., 2001. Construction Materials, Dimension Stone. In: Buschow K H J, Cahn R W, Flemings M C, Ilshner B, Kramer E J, Mahajan S (eds). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Volume 1. Elsevier, Oxford, pp. 1546-1550.
- Luís, A.G., 1995. Caracterização, avaliação e simulação da blocometria de um jazigo de mármore. Tese de Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro. Univ. Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Manuppella, G., Carvalho, J.M.F., Machado, S., Henriques, P., Quartau, R., Casal Moura, A., Grade, J., 2000. Estudos Geológicos de Caracterização do Recurso “Brecha” Algarvia. Relatório Interno IGM, Alfragide, 37 p.
- Matheron, G., 1970. La théorie des variables regionalisées et ses applications. *Les Cahiers du CGMM*. Fontainebleau. Paris. 212 p.
- Müller, I., Carvalho Dill, A., 1996. Advances on electromagnetic prospecting to survey shallow aquifers and contaminated sites. *International Congress on Environment and Climate*, Roma.
- Muñoz de la Nava, P. M., Escudero, J.R., Suarez, I.R., Romero, E.G. Rosa, A.C., Moles, F.C., Martinez, M.G., 1989. Metodologia de investigación de rocas ornamentales: granitos. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 100, nº 3, pp. 129-149.
- Pereira, H. G., 1979. Introdução às variáveis regionalizadas. *Técnica* 451/452, Lisboa, pp. 89 – 96
- Selonen, O., Luodes, H., Ehlers, C., 2000. Exploration for dimensional stone – implications and examples from the Precambrian of southern Finland. *Engineering Geology*, 56, pp. 275-291.
- Shadmon, A., 2005. Stone Absolute (By any other name). *LITOS*, 78(May/June).
- Smith M.R., 1999. *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 16.

- Turberg, P., Muller, I., 1992. La méthode inductive VLF-EM pour la prospection hydrogéologique en continu du milieu fissure. Ann. Sci. Univ. Besançon, Mém. H. S. 11, pp. 207-214.
- Vintém, C., Sobreiro S., Henriques, P., Falé P., Saúde J., Luís G., Midões, C., Antunes C., Bonito N., Dill A. C. & Carvalho, J.M.F., 2003. Cartografia Temática do Anticlinal como Instrumento de Ordenamento do Território e Apoio à Indústria Extractiva. Relatório interno do Instituto Geológico e Mineiro e Cevalor para AIZM – “Acção Integrada da Zona dos Mármore” (FEDER) do Eixo Prioritário 2 Programa Operacional Regional do Alentejo 2000-2006, Vol. 2 – Fase A, 99 p.

CAPÍTULO 13

NOVA SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE JAZIDAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Vanildo Almeida Mendes¹, Julio César de Souza, Oberdan José de Santana

RESUMO

A análise estrutural de um maciço rochoso constitui uma ferramenta de fundamental importância no planejamento da lavra de rochas ornamentais. O texto em tela, trata de estudos desenvolvidos na pedreira do Granito Frevo, o qual compreende um paragneisse migmatizado de cor róseo-avermelhado.

Os parâmetros obtidos durante o levantamento foram tratados em projeção estereográfica (rede de Schmidt), com a finalidade de determinarem-se os eixos de compressão máxima e mínima. A análise do fraturamento distinguiu duas direções principais do cisalhamento dispostas nas direções 50°Az e 350°Az, com fraturas de tensão orientadas nos intervalos de 20° a 30°Az e 300° a 320°Az. A interpretação dos diagramas, conjugada com a análise do elipsóide de tensão, permitiu concluir que a melhor direção para se efetuar o corte da pedreira, de forma a provocar o alívio das tensões, sem fissurar à rocha é a de SE-NW.

INTRODUÇÃO

As dimensões e qualidade dos blocos obtidos nas operações de lavra dependem principalmente da natureza e equidistância dos fraturamentos associados à distribuição das tensões atuantes em um maciço rochoso.

Esta pesquisa foi realizada em um amplo maciço aflorante do migmatito róseo-avermelhado, situado no município de Sertânia-PE. Durante o transcorrer das atividades foi realizado, em consonância com o estudo estrutural da área, o mapeamento geológico de detalhe do setor, em escala 1:1000.

Para a análise destas deformações rupturais, inicialmente efetuou-se a medição e caracterização geométrica dos cisalhamentos observados, incluindo as fraturas verticais e as preenchidas por veios pegmatíticos. Em seguida, foi elaborado o tratamento dos dados, através do método de projeção estereográfica (rede de Schmidt), determinada a distribuição das tensões ao longo maciço e a melhor direção de corte para a abertura da pedreira.

¹ Mestrando PPGEMinas/UFPE. E-mail: vamendes@cprm.gov.br

LOCALIZAÇÃO

A área estudada situa-se no Sítio Jaú, distando cerca de 10 km a sudeste do município de Sertânia, na Região Semi-árida do Estado de Pernambuco. Compreende um maciço aflorante, com cerca de 220 m de extensão, por 150 m de largura e altura média de 10 m. Topograficamente destaca-se no relevo arrasado que circunda a área, dispendo-se na direção ESE – NNW em concordância com a estruturação regional (figura 1).



Figura 1: Mapa de Situação da Pedreira do Sítio Jaú

CONTEXTO GEOLÓGICO DA PEDREIRA

Em termos geológicos o jazimento insere-se no Terreno Alto Moxotó, mais precisamente nos gnaisses mesoproterozóicos do Complexo Sertânia, localmente submetida à intensa migmatização. A rocha mostra-se constituída por faixas cinza-escura com leitos de tonalidade róseo-avermelhada, os quais se apresentam deformados e dobrados. Os níveis róseo-avermelhados constituem o denominado neossoma e possuem composição granítica, sendo formados essencialmente por quartzo, K-feldspato e pontuações de biotita. As faixas escuras correspondem ao paleossoma, mostram-se ricas em biotita, contendo ainda quartzo e granada. Tal composição, rica em alumossilicatos confirma uma origem paraderivada para a rocha. No geral, trata-se de um biotita gnaisse granadífero intensamente migmatizado, onde se observam estruturas flebíticas, nebulíticas e localmente schlieren (Figura 2).

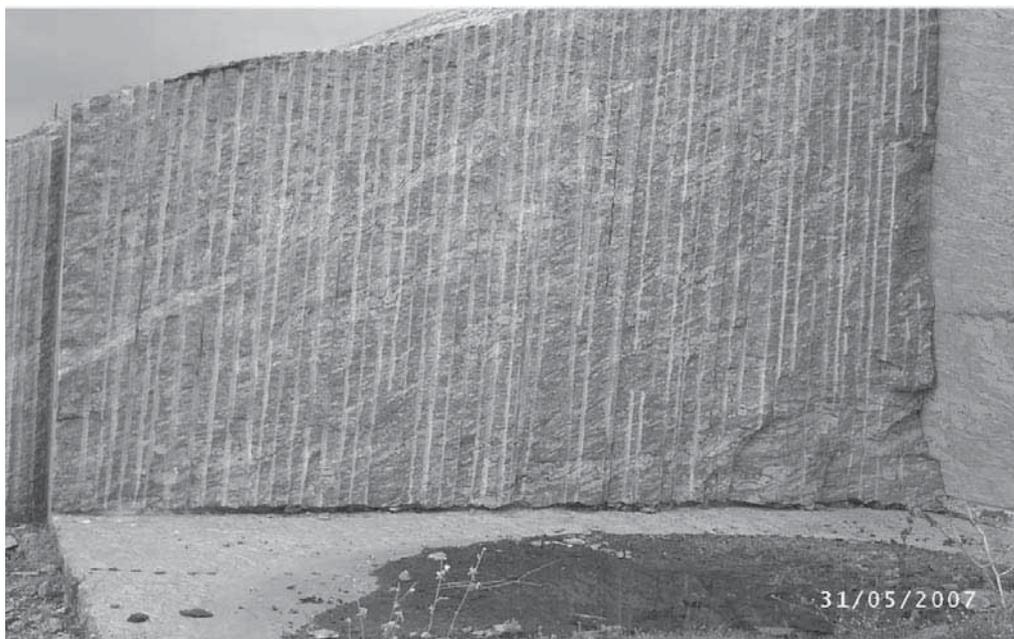


Figura 2I: Vista do Migmatito em bancada, onde nota-se a intensa deformação plicativa a que foi submetido.

O estudo em secção delgada identificou uma textura lepidoblástica, bem orientada, com neossoma granular definido por níveis félsicos, intercalados com leitos máficos ricos em biotita, granada e opacos, contendo ainda quartzo e plagioclásio. A ausência de microfissuras e de minerais de alteração nos permite antever, que a rocha deve possuir baixo índice de porosidade e boa resistência mecânica, para aplicação em termos de material para fins ornamentais. Em placa polida, este migmatito se apresenta constituído por faixas alternadas de tonalidade róseo-avermelhada e preta. Os níveis félsicos mostram-se mais espessos, visivelmente dominantes e intensamente deformados. Tal feição empresta ao conjunto um aspecto uniforme e harmonioso, de rara beleza e notável aspecto estético-decorativo (figura 3).

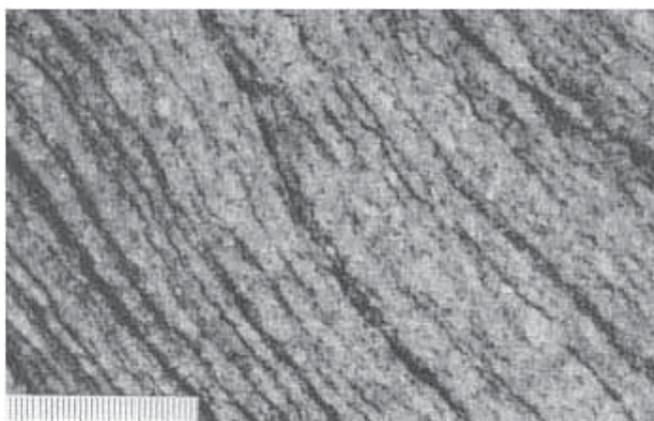


Figura 3: Feição em chapa polida do Granito Frevo

O maciço aflorante mostra-se pouco afetado por fraturas, veios, enclaves máficos, pegmatitos e corpos de leucogranitos. Além da pequena quantidade, tais imperfeições dispõem-se de forma espaçadas pelo afloramento, o que facilita as operações de exploração de blocos dentro dos padrões do exigente mercado internacional.

Em contato com estes migmatitos (vide mapa Geológico-Figura 4), têm-se biotita gnaisses granadíferos bastante deformados e eventualmente migmatizados, com neossoma rico em quartzo e plagioclásio. Tais paragnaisses ocorrem também como restitos, no interior da massa migmatítica de cor róseo-avermelhada. Dispostos de forma discordantes e em certos casos concordantes com a estrutura regional ocorrem corpos e diques de pegmatitos de coloração róseo-avermelhada e de leucogranitos equigranulares de granulação média, rico em quartzo, k-feldspato e com pouca biotita. Tais plutonitos, mostram-se destituídos de foliação e devem ter-se intrudidos na fase tardia a pós-tectônica ao Neoproterozóico, o qual constitui o último evento que afetou a área.

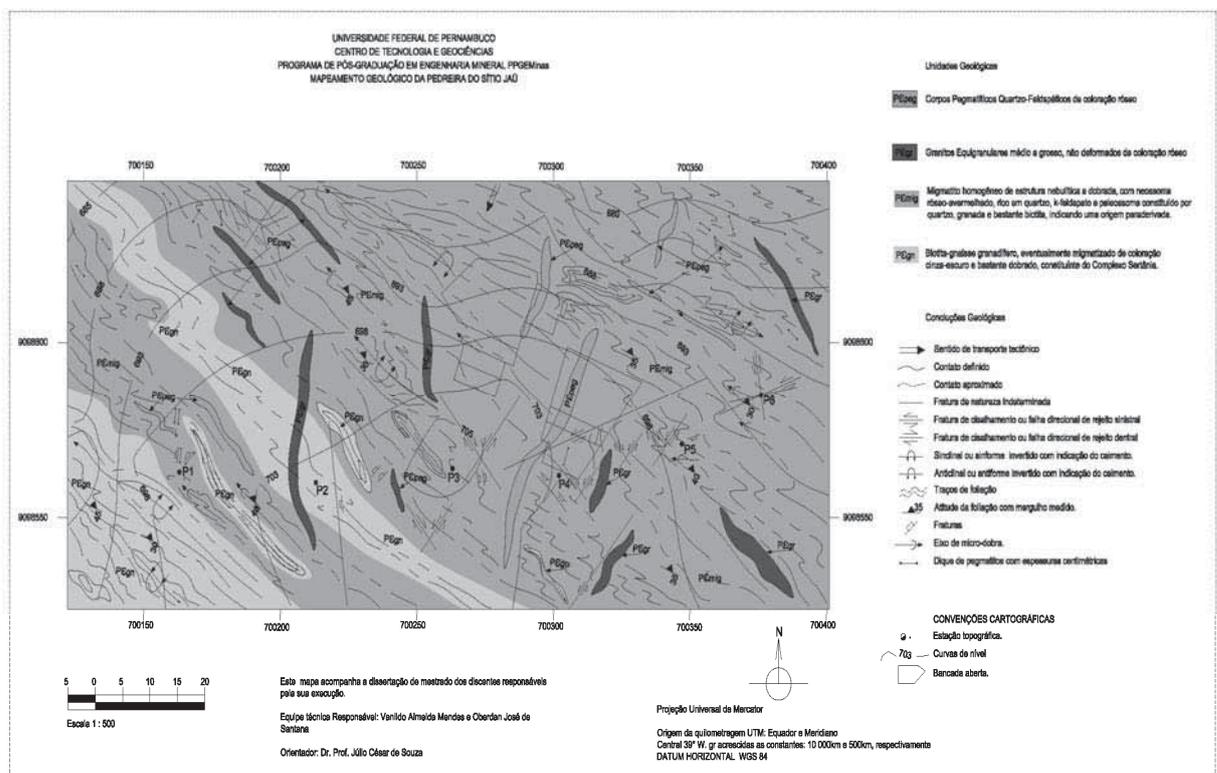


Figura 4: Mapa Geológico de Detalhe do Maciço Rochoso

Análise Estrutural da Área

A área em apreço foi palco de uma intensa atividade tectônica, documentada por 03 (três) fases de deformações plicativas. A primeira evidenciada pela foliação S_n e dobras intrafoliais apertadas, afetadas por dobramentos inclinados a recumbentes da fase F_2 de plano axial sub-horizontal com caimento do eixo entre 15° e 25° na direção $310^\circ Az$, sendo coaxial aos dobramentos anteriores.

Tais deformações foram geradas em um regime nitidamente tangencial, o qual foi responsável também pelo alto grau metamórfico (fácies anfíbolito), que afetou toda esta seqüência metasedimentar. Progressivamente a área foi palco da atuação de uma tectônica de fase transcorrente, a qual originou as dobras F_3 de plano axial sub-vertical e deformou os dobramentos pretéritos, tendo inclusive afetado e crenulado a foliação S_n e S_{n+1} . Observa-se ainda o fechamento da foliação formando estruturas dômicas tipo padrão casca de ovos, correspondendo provavelmente a figuras de interferência tipo I de Ransay (1967).

Como resultado deste esforço compressivo e da tectônica transcorrente que atuou sobre a área, originaram-se fraturas de cisalhamento nas direções $50^\circ Az$ e $350^\circ Az$, com movimentos de rejeito sinistral e dextral respectivamente. Convém frisar, que tais fraturas acham-se relacionadas às direções de falhamento regionais. Tal disposição das estruturas rúpteis, quando confrontadas com a foliação S_n de direção $300^\circ Az$, permite afirmar que os cisalhamentos em questão, constituem um par conjugado, estando o eixo de compressão máxima τ_1 disposto na bissetriz do ângulo formado entre os dois cisalhamentos, isto é na direção $30^\circ Az$, enquanto as fraturas de tensão situam-se nos intervalos de 20° a $30^\circ Az$ e 300° a $320^\circ Az$ respectivamente.

Análise do Fraturamento e Uso das Técnicas de Projeção Estereográfica

Além do mapeamento e levantamento detalhado das estruturas detectadas, foi executado um processamento minucioso dos dados relativos aos planos de fraturas, e em seguida criado um banco de dados, para a elaboração de futuros modelos de descontinuidades. Posteriormente os parâmetros obtidos sobre o fraturamento estudado foram tratados e correlacionados com a interpretação dos mesmos através do diagrama de rosetas.

Análise dos diagramas de projeção estereográfica (figuras 5 e 6) e o de rosetas (figura 7) mostram que as fraturas de cisalhamento detectadas dispõem-se nas direções $350^\circ Az$, com movimento dextral e $50^\circ Az$ de rejeito sinistral. Tais fraturamentos formam um par conjugado, cuja bissetriz do ângulo formado pelo cruzamento destes cisalhamentos, corresponde à direção de compressão máxima atuante representada por Π_1 . A interpretação destes diagramas, representada na figura VI permite visualizar que paralela ao Π_1 ($30^\circ Az$), têm-se uma direção de fraturas de tensão, e uma outra também de distensão perpendicular ao eixo de compressão máxima e disposto nas direções 300° a $310^\circ Az$.

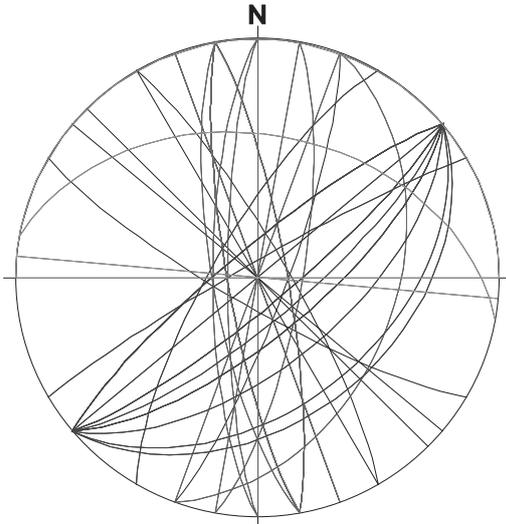


Figura 5: Diagrama da Rede de Schmidt, onde os planos azuis e vermelhos constituem o par conjugado de cisalhamento

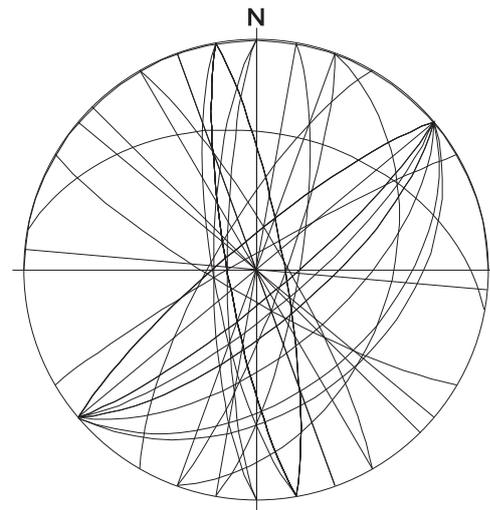


Figura 6: Diagrama da rede de Schmidt com os planos de fratura de cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima.

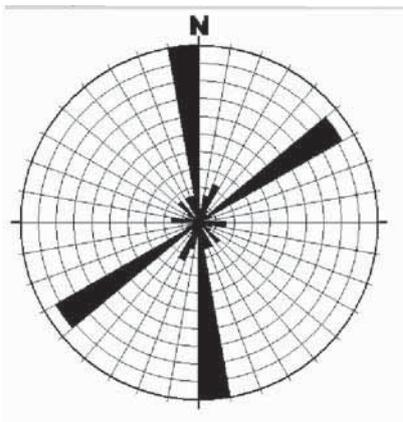


Figura 7: Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado nas direções 50° Az e 350° Az.

A correlação destas estruturas, com a análise dos sigmóides, observados em bancada aberta na rocha (figura 8), confirma que as deformações plicativas citadas no item anterior, apresentam mergulho da foliação para NE e sentido de transporte tectônico para SW, ao longo de uma direção compressiva SW-NE.



Figura 8: Pela disposição dos sigmóides observa-se o sentido de transporte tectônico para SW.

Convém salientar que as fraturas sub-horizontais somente, foram detectadas em corte de bancada, não sendo visualizadas nos afloramentos em planta. Em certos casos encontram-se preenchidas por minerais de argila e não foram originadas durante a atuação do esforço compressivo tangencial de amplitude regional, que afetou intensamente a região, mas sim durante a ascensão do material.

A reorientação deste strain (ϵ_1), também explica o porque da disposição de fraturas associadas à distensão, orientadas nos intervalos de 15° a 20° Az e entre 270° a 300° Az respectivamente.

Discussão dos Resultados

Sabe-se que a disposição do fraturamento observado em um determinado padrão de orientação, natureza e equidistância são resultantes dos esforços atuantes sobre o maciço. A análise da fig. VI permite visualizar, que a partir da definição do elipsóide de tensão, podem ser definidas as direções de tensões máxima e mínima atuantes sobre o corpo rochoso e conseqüentemente no elipsóide de deformação, têm-se posicionado as estruturas deformacionais geradas pelo campo de tensões atuantes.

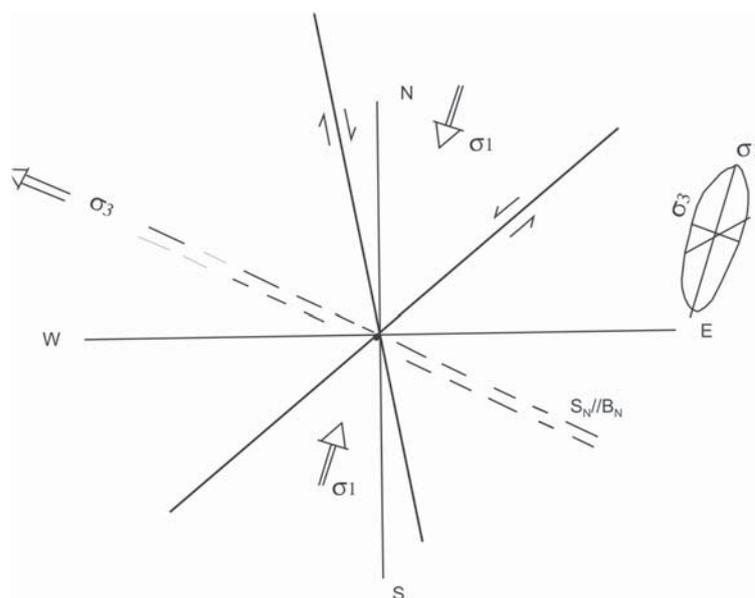


Figura 9: Mostra o par conjugado formado pelas fraturas de cisalhamento, o eixo de compressão máxima e o elipsóide de tensão.

A análise estrutural do afloramento e a interpretação dos diagramas acima expostos mostram, de acordo com o elipsóide de tensão, que a melhor direção para a abertura da pedra deverá ser a de 300° Az, disposta perpendicular ao eixo de compressão máxima (τ_1), e paralela ao de tensão mínima ϵ_3 . O corte da pedra, a ser dado nesta, direção deverá propiciar o alívio do maciço e em seguida deve-se processar a extração dos blocos com eixo maior paralelo a direção de estruturação da rocha.

Tal interpretação é de suma importância para a condução das futuras operações de exploração, inclusive para a obtenção do nível de qualidade desejado, para o bloco extraído, cujo padrão depende do controle das superfícies de fraqueza da rocha. Em síntese, o conhecimento prévio destas discontinuidades possibilita estabelecer-se um correto planejamento das futuras operações de extração, as quais deverão ser adaptáveis a cada situação.

Salienta-se que o tratamento das informações contidas no mapa geológico da pedra, em modelo 3D, permitiu visualizar o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas ora analisados.

Tal modelamento, quando associado à interpretação dos diagramas das figuras III e IV e do elipsóide de tensão vêm reforçar a assertiva na qual a direção de 3000Az constitui a melhor direção para o corte de abertura da pedreira. Tal consideração é confirmada pela abertura de bancadas segundo esta concepção, durante as operações de lavra experimental desenvolvida no local e que propiciou a retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

CONCLUSÕES

O estudo em apreço mostra que nas operações de lavra em maciço rochoso, o conhecimento da distribuição das fraturas e da orientação do campo de tensões atuantes sobre o mesmo é de fundamental importância, para o planejamento das futuras operações de exploração. Sabe-se que a correta visualização tridimensional dos planos de fratura, permite a definição não apenas do correto sentido de abertura da pedreira, mas também o tamanho e orientação dos blocos a serem extraídos.

Convém frisar, que o levantamento estrutural de detalhe, seguido do estudo do campo de tensões atuantes sobre o maciço, constituem ferramentas importantes para o planejamento das operações de extração. Entretanto, devem ser complementados pela modelagem tridimensional das estruturas, uso do extensômetro e do GPR (Ground Penetration Radar).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BARBOSA, A. J.; PAIVA, I. P. Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e infra-estrutura, para uso em mapas de atratividade econômico-geológica de rochas para fins ornamentais. Recife; CPRM, 1998 (inédito).
- LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. – Projeção Estereográfica Aplicada a Geologia Estrutural IN Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. Editora Brücher. São Paulo. 1976-627 p.
- HOLANDA, C. J. de CUNHA, A. C. da; SILVA, F. A. F.; SERENO FILHO, J. A. Catálogo dos Granitos do Estado de Pernambuco-Minérios de Pernambuco. Recife, 1987. 109p.
- MEDEIROS, V. C. de – Folha Garanhuns- SB. 24_X_B-Integração Geológica - Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil-CPRM-Recife, 1998.
- SANTOS, E. J. do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Floresta-SC. 24_X-A: Província Borborema, Nordeste do Brasil. Integração Geológica e Metalogenética Escala. 1:250. 000
- PAIVA, I. P. - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco Escala: 1: 250.000-CPRM-Recife, 2000(inédito).
- MENDES, V. A.; PAIVA, I. P, Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Garanhuns Escala 1:250. 000-CPRM-Recife, 2003 (inédito).

CAPÍTULO 14

TENSÕES NATURAIS E INDUZIDAS EM PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS GRANÍTICAS

Aarão de Andrade Lima¹; Robson Ribeiro Lima; João Bosco Burgos Costa

RESUMO

Muitos corpos graníticos superficiais apresentam elevadas componentes horizontais de tensões naturais. A concentração de tensões no maciço em decorrência das aberturas para lavra de rochas ornamentais pode causar a propagação de fraturas em bancadas e pranchas, comprometendo a recuperação da reserva. O objetivo desta publicação é apresentar os resultados de modelagem numérica, usando o programa de elementos finitos Phase2D, na previsão da formação e da propagação de trincas durante o processo de corte de pranchas. A parte de campo da pesquisa está sendo desenvolvida em uma pedreira do granito branco de Pocinhos - PB, cujo elevado estado de tensões foi constatado pela intensa geração e propagação de fraturas, após a abertura de uma bancada com fio adiamantado e argamassa expansiva. Com base nos modelos numéricos obtêm-se as seguintes conclusões: 1) modelos de elementos finitos convencionais de previsão de propagação de fraturas necessitam de malhas bastante refinadas; 2) cortes cegos executados de maneira simultânea reduzem o surgimento de trincas, nas pranchas e no maciço remanescente; 3) os danos previstos nos modelos em que os cortes horizontais ou verticais são iniciados a partir da superfície da rocha em direção ao seu interior foram menores, nas pranchas e no maciço remanescente.

¹ Ph.D, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: aaraolima@uol.com.br.

INTRODUÇÃO

Tem sido observado que muitos corpos graníticos com baixa fissuração inicial apresentam elevadas componentes horizontais de tensões naturais. Esse fenômeno é constatado durante a extração de rochas ornamentais pela prisão de brocas de perfuração e de fios diamantados, bem como pela criação e propagação de fraturas. A redistribuição e concentração de tensões no maciço em decorrência das escavações efetuadas durante a lavra pode causar a propagação de fraturas em bancadas ou pranchas, comprometendo a recuperação da reserva.

A origem e a medição de tensões naturais na crosta terrestre são objetos de intensos estudos nas áreas de geotectônica, engenharia do petróleo, geotécnica, e em mineração subterrânea (AMADEI; STEPHANSSON, 1997). Na área de rochas ornamentais o fenômeno não foi ainda enfocado de forma conclusiva com uso de instrumentação e métodos numéricos. A existência de estado de tensões iniciais elevadas em maciço íntegros é explicada pela formação profunda dessas rochas. Com a denudação ocorrida durante o tempo geológico, as componentes verticais são aliviadas, mas uma parcela das componentes horizontais permanece na rocha sem liberação. Parte dessas tensões é aliviada por deformações de natureza visco-plástica, e parte é atenuada com a formação de fraturas (AMADEI; STEPHANSSON, 1997). Em alguns casos críticos, as tensões iniciais elevadas podem impedir a lavra de rochas ornamentais como empreendimento econômico. Algumas vezes as manifestações de tensões elevadas surgem nas fases iniciais de aberturas das pedreiras, e tornam-se reduzidas com o alívio do maciço. Para a medição das tensões naturais nos maciços rochosos são necessários equipamentos sofisticados, bem como pessoal especializado. Semelhantemente, a interpretação dos resultados deve ser feita por pesquisador experiente.

Encontra-se em andamento no âmbito da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da UFCG um projeto (LIMA *et al.*, 2007) cujo um dos objetivos é melhorar a compreensão dos fenômenos ligados ao efeito das tensões nos maciços portadores de rochas ornamentais. O projeto prevê também a medição de tensões em pedreiras da região, bem como o uso de softwares de análise de tensões.

O objetivo desta publicação é apresentar e interpretar os resultados iniciais de modelagem numérica usando o programa de elementos finitos Phase2D (ROCSCIENCE, 2001) na a previsão da formação e da propagação de trincas durante o processo de corte de pranchas de granito ornamental.

PEDREIRA SELECIONADA PARA ESTUDO

A parte de campo da pesquisa está sendo realizada em uma pedreira do granito branco de Pocinhos, de propriedade da empresa Fuji S/A, cuja localização encontra-se indicada na Figura 1. A sede do Município de Pocinhos dista cerca de 30 km de Campina Grande, com acesso pela BR 230 em direção a oeste, e em seguida por uma estrada pavimentada na direção norte. A pedreira se encontra na zona urbana da cidade de Pocinhos.

O granito escolhido apresenta boas condições para a realização do estudo, pois está em fase de pesquisa e já houve a abertura de uma bancada piloto. A rocha apresenta uma reserva colossal, com prognósticos positivos para lavra futura. Do ponto de vista comercial o granito em chapa polida pode ser classificado como branco ou creme. Trata-se de um corpo pouco

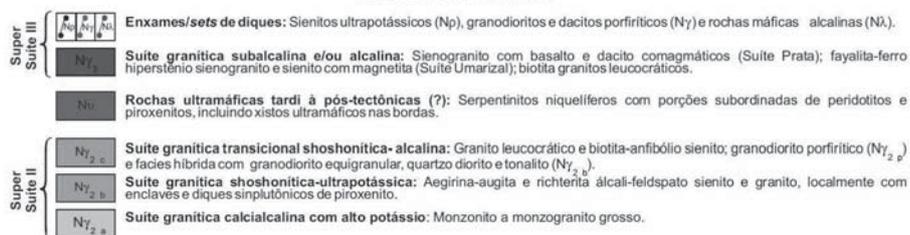
fraturado, o que vai possibilitar que as medições sejam minimamente afetadas por variações erráticas nas componentes de tensões em função da presença de fraturas naturais.

O granito típico é o batólito de Esperança, na parte leste do terreno Alto Pajeú e está classificado como suíte granítica calcialcalina com alto potássio: monzonito a monzogranito grosso (SANTOS *et al.*, 2002). O corpo, indicado na Figura 1 como NY_{2a}, está limitado a sul e a norte por bifurcações do marco tectônico mais expressivo, o Lineamento Patos. Trata-se, portanto, de uma área altamente movimentada do ponto de vista tectônico, onde os eventos ocorridos tiveram importância marcante no desenvolvimento de tensões nos corpos rochosos encontrados no setor. Na região de Pocinhos o corpo é limitado ao norte por uma faixa de meta-granito com granada, biotita e muscovita, ocorrendo mais ao norte uma faixa de biotita xisto granadífero da Formação Seridó. Ao sul e a nordeste do batólito ocorre o Complexo São Caetano, representado por gnaisses e muscovita xisto.

Algumas feições encontradas no batólito são importantes para o planejamento de uma lavra de rochas ornamentais. A existência de veios de quartzo e veios aplíticos, preenchendo fraturas pré-existentes, funciona como limite na manutenção da padronização básica dos blocos de lavra. Um aproveitamento racional poderá ser executado alinhando as maiores dimensões dos blocos paralelamente aos veios, que no afloramento estudado apresentam azimutes variando entre 40° a 96°, com média de 70° e baixa dispersão (desvio padrão 8,8°).



NEOPROTEROZÓICO



Fonte: Santos et al. 2002

Figura 1: Localização e mapa geológico da pedreira do granito Branco de Pocinhos.

O elevado estado de tensões no granito foi constatado pela intensa geração e propagação de fraturas (Figura 2), induzidas pelos cortes realizados na abertura da bancada piloto, apesar desses cortes terem sido realizados com fio adiamantado e argamassa expansiva, técnicas de corte que impõem danos mínimos ao maciço remanescente. Algumas fraturas de alívio, subparalelas à topografia do maciço, confirmam também o elevado estado de tensão instalado no corpo.

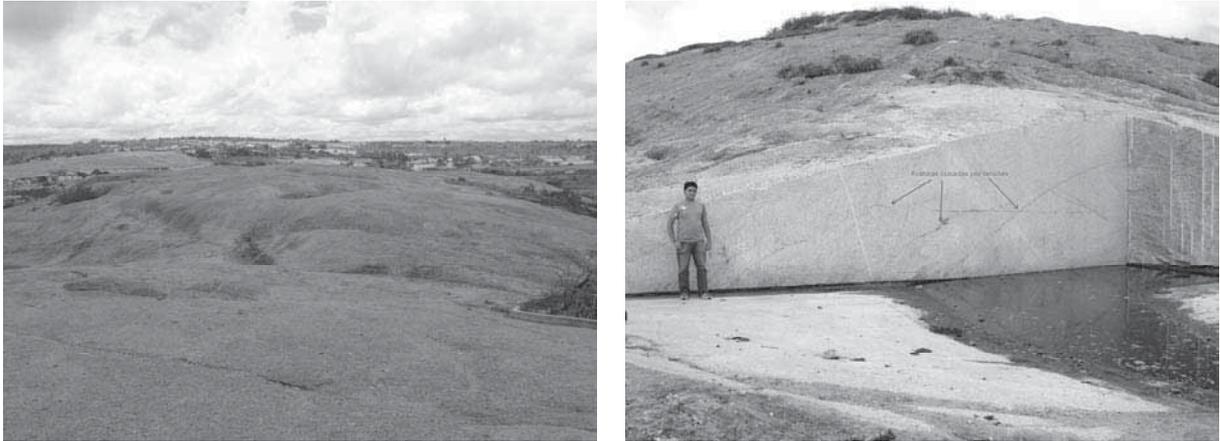


Figura 2: Vista da pedreira e detalhe das fraturas resultantes das tensões elevadas.

DADOS UTILIZADOS PARA MODELAGEM NUMÉRICA

Foi realizada uma análise numérica simplificada com elementos finitos, modelos bidimensionais de deformações planas, usando o programa Phase2 (ROSCIENCE, 2003).

A geometria básica escolhida consiste em pranchas com 10 metros de altura e com larguras opcionais de 10 e 20 metros. A visualização tridimensional do modelo pode ser obtida na Figura 3.

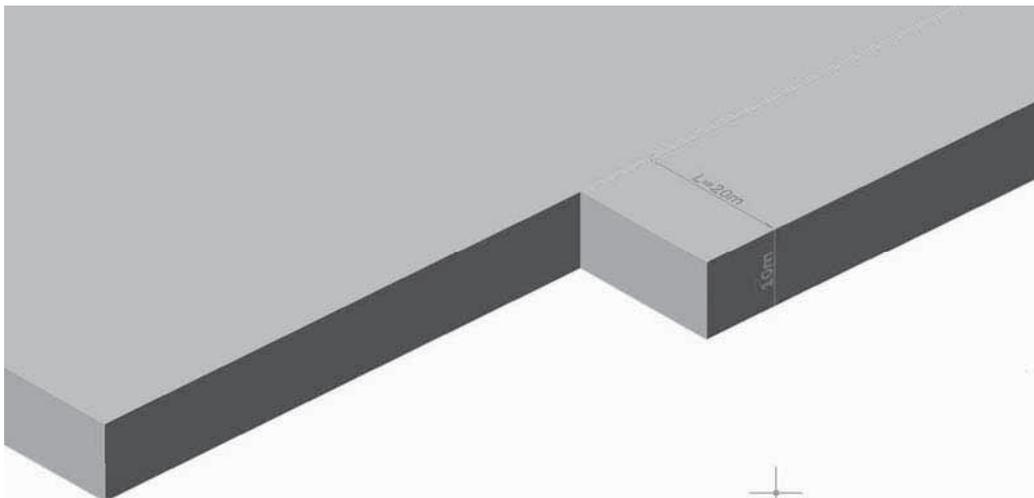


Figura 3: Geometria tridimensional dos modelos.

O estado de tensões adotado foi o seguinte: componente vertical igual a 0,3 MPa (correspondendo a uma profundidade de aproximadamente 10 metros); componente horizontal no plano do modelo igual a 10 MPa; e componente horizontal normal ao plano do modelo igual a 5MPa. Na literatura têm sido citados valores bastante elevados de tensões horizontais, na superfície de maciços compactos, segundo Franklin e Dusseault (1989, p. 130).

O valor típico de 90 MPa foi adotado para a resistência à compressão da rocha em escala de laboratório, um pouco abaixo do valor obtido com amostras orientadas na direção de resistência máxima. O valor da resistência à compressão *in situ* foi calculado simplesmente dividindo a resistência em escala de laboratório por 3, o chamado efeito escala (HOEK, 1980). Foi adotado o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, com as propriedades mecânicas listadas abaixo.

- Módulo de elasticidade: 20 GPa.
- Coeficiente de Poisson: 0,3.
- Resistência à compressão em laboratório: 90 MPa.
- Resistência à compressão *in situ*: 30 MPa.
- Resistência à tração *in situ*: 3 MPa.
- Coesão interna, valor de pico: 9,2 MPa.
- Coesão interna, valor residual (pós-ruptura), 0,92 MPa.
- Ângulo de atrito interno, valor de pico: 30°.
- Ângulo de atrito interno, valor residual (pós-ruptura): 20°.
- Ângulo de dilatância: 10°

CONSTRUÇÃO DAS MALHAS DE ELEMENTOS FINITOS

Os modelos numéricos bidimensionais executados na fase atual desta pesquisa tiveram o objetivo de verificar a geração e propagação de trincas para diferentes seqüências de liberação das pranchas do maciço. As duas geometrias adotadas consistem em pranchas com 10 metros de altura por 10 metros de comprimento, e 10 metros de altura por 20 metros de comprimento. As seqüências de extração estão agrupadas em: cortes cegos, cortes horizontais e cortes verticais, com cada corte parcelado em cinco estágios. As possibilidades geométricas e de seqüência de corte foram combinadas, resultando em 14 modelos.

Modelos de elementos finitos convencionais para previsão de propagação de fraturas (fenômenos de localização das deformações) necessitam de malhas bastante refinadas (CORTHÉSY; LEITE, 2007), conjugadas a aplicação de pequenos incrementos nas cargas resultantes do processo de corte / escavação. Em projetos que necessitam de maior precisão são necessários softwares com módulos especializados em mecânica de fraturas. Os modelos de elementos finitos executados neste trabalho buscaram um equilíbrio entre boa precisão e tempo de processamento razoável. O refinamento das malhas de elementos triangulares de 6 nós resultou em modelos com 10.000 a 15.000 graus de liberdade, cada um dos quais requereu em torno de 20 minutos de tempo de processamento em um microcomputador Pentium M760

de 2.0GHz, com 1GB de memória RAM. Na Figura 4 estão ilustradas as malhas utilizadas em dois modelos, sendo um para corte cego e outro para corte horizontal.

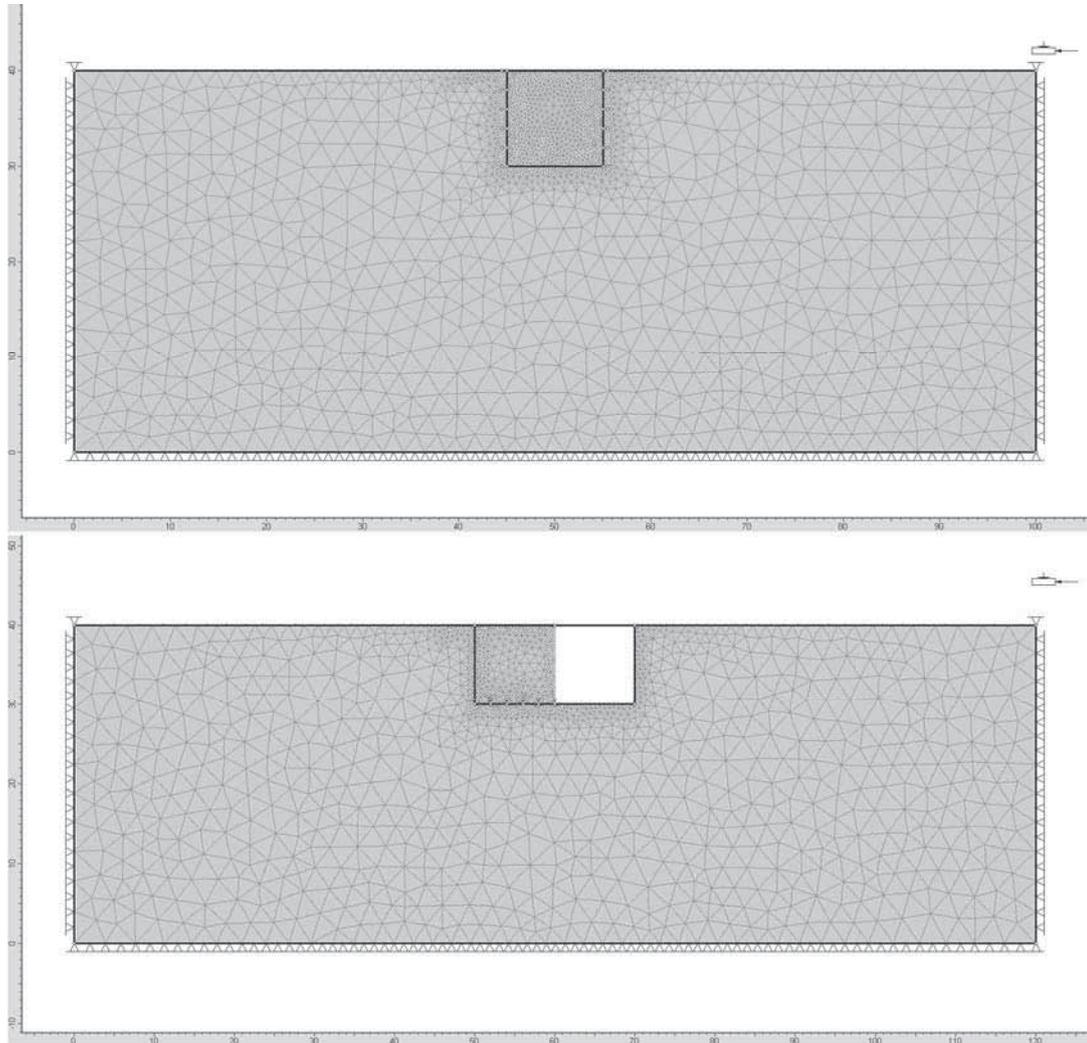


Figura 4: Exemplos de malhas de elementos finitos utilizadas.

Os modelos de elementos finitos buscam reproduzir de forma discreta os mecanismos contínuos de liberação das pranchas pelos processos de corte. Com o intuito de limitar o tempo de processamento, os cortes foram simulados em cinco incrementos. Na Figura 5 é mostrada a seqüência de corte adotada para um modelo 10 m por 10 m com corte vertical.

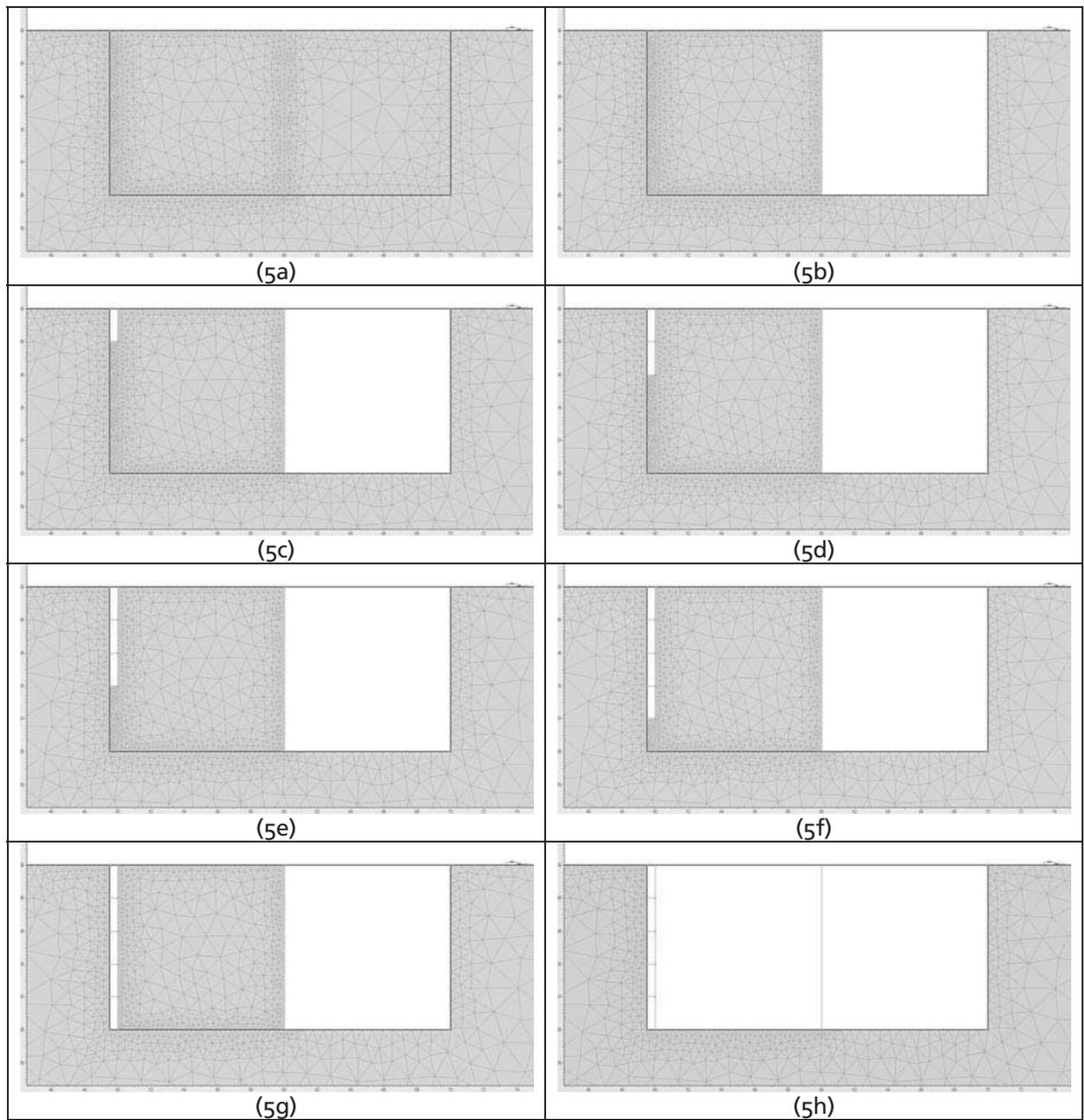


Figura 5: Malha com detalhes da seqüência de cortes.

RESULTADOS DA MODELAGEM NUMÉRICA

Os resultados dos modelos numéricos são aqui apresentados de forma gráfica para os cortes cegos, horizontais e verticais. Esses três tipos de corte podem ser executados a partir da superfície para o interior do maciço, ou vice-versa, do interior para a superfície da rocha. As duas modalidades de seqüência de corte são de execução tecnicamente viável com o uso do fio diamantado. As outras tecnologias de corte (furação contínua, argamassa expansiva, flame-jet ou explosivos) não exibem tal versatilidade, e podem requerer o uso de modelagem numérica tridimensional para o estudo do efeito dos cortes na concentração de tensões e na propagação de trincas.

Na Figura 6 são mostradas as tensões máximas e os caminhos de propagação de trincas nos modelos representando os cortes cegos, para ambas as dimensões de pranchas (10 m por 10 m e 10 m por 20 m). As setas na Figura 6 e nas figuras subsequentes assinalam a posição do início dos cortes nos modelos aqui estudados. Verifica-se que nos modelos com cortes executados de forma seqüenciadas, primeiro o corte à direita e depois o corte à esquerda na Figura 6 (6a e 6b), as trincas se propagam diagonalmente afetando tanto as prancha cortadas quanto o maciço remanescente. Observa-se ainda que a propagação de trincas não ocorre de forma simétrica em relação ao primeiro corte, tendo em vista o refinamento preferencial da malha no interior da prancha, o que sugere a necessidade de adoção de malhas mais refinadas, procedimento a ser adotado na continuação do projeto de pesquisa. Pode-se verificar que devido à propagação de trincas em todos os modelos as pranchas são liberadas do maciço remanescente, mesmo antes da execução do último corte, e por isso assumem tensões principais máximas muito baixas.

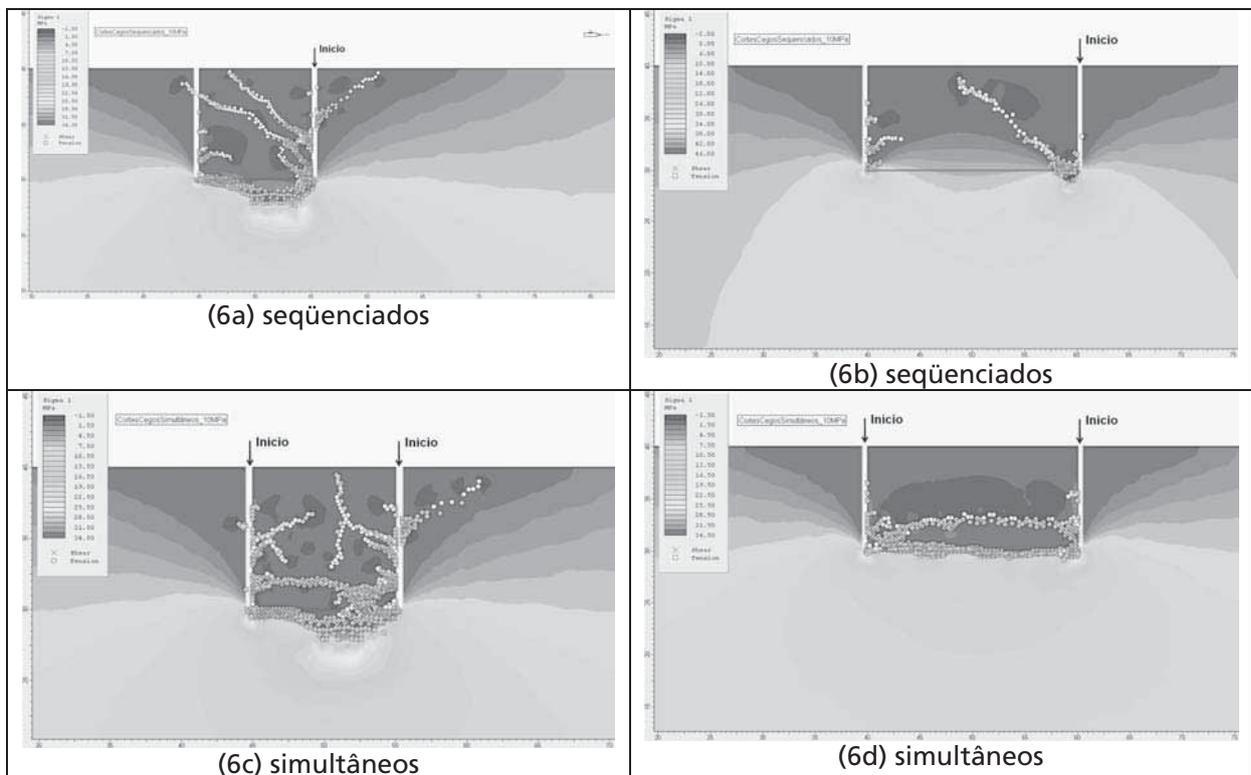


Figura 6: Resultados dos modelos com cortes cegos.

Nos modelos com cortes simultâneos (6c e 6d) formam-se trincas sub-horizontais no interior das pranchas e o dano ao maciço remanescente é bastante limitado. Verifica-se ainda que no modelo 10 m por 20 m com corte simultâneo (6d) forma-se apenas duas trincas sub-horizontais, sem dano ao maciço remanescente. Assim, conclui-se que cortes cegos executados de maneira simultânea reduzem o surgimento de trincas, tanto nas pranchas liberadas, quanto no maciço remanescente.

Na Figura 7 são mostrados os resultados dos modelos para os cortes iniciais horizontais. Nos modelos denominados externos, os cortes se iniciam na superfície da rocha e avançam para seu interior (7a e 7b). Nesse caso são observadas trincas de tração ramificadas para o interior das pranchas, a partir das bases, e o dano ao maciço remanescente é bastante reduzido. No caso dos modelos aqui denominados de internos (7c e 7d), o corte se inicia no interior das bases das pranchas e avança em direção à superfície da rocha, sendo observados poucos danos às pranchas cortadas no estágio que está sendo modelado numericamente. Para o modelo de corte interno e prancha 10 m por 10 m (7c) propaga-se uma trinca ascendente para a lateral esquerda do maciço remanescente. No modelo com prancha de 10 m por 20 m (7d) essa trinca permanece sub-horizonta a partir da base da prancha.

Tendo em vista que os danos apresentados pelos cortes horizontais externos ficam limitados às bases das pranchas e que o maciço remanescente é preservado, esses tipos de corte são mais vantajosos que os cortes horizontais iniciados no interior dos maciços.

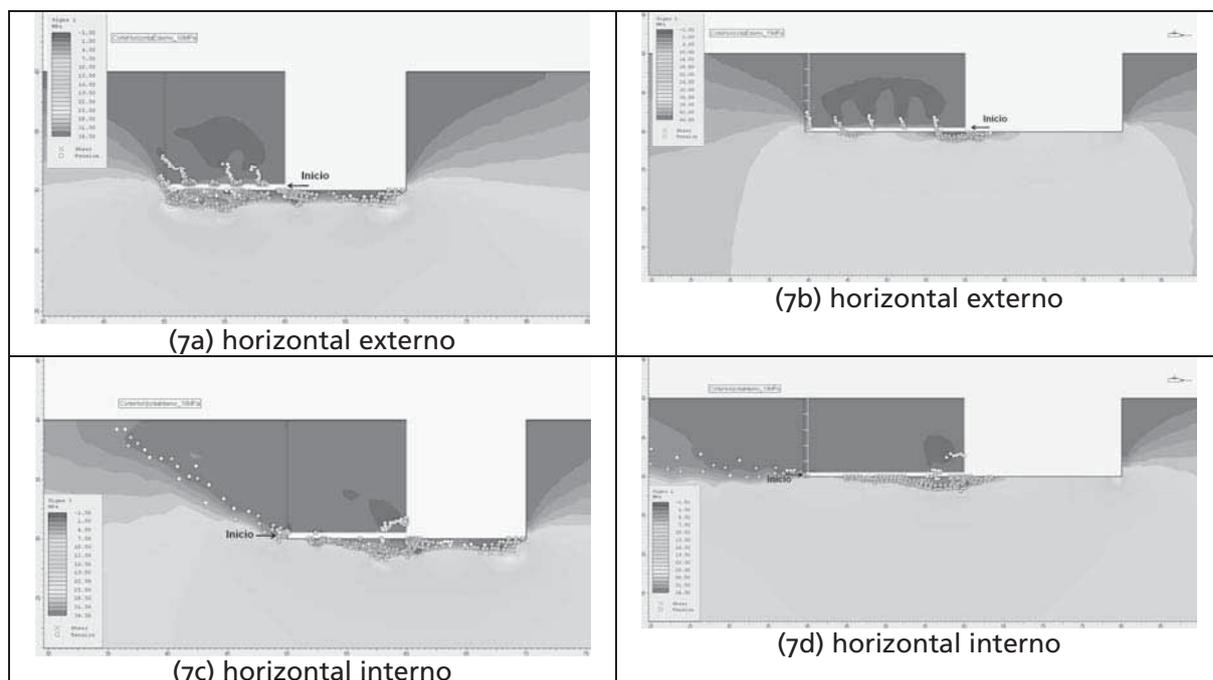


Figura 7: Resultados dos modelos com cortes iniciais horizontais.

Na Figura 8 são mostrados os resultados para cortes iniciados em planos verticais, com seqüências descendentes (da superfície para a base), ascendente (da base para a superfície) e mista (combinando cortes descendentes e ascendentes). Para os cortes descendentes (8a e 8b) são verificados pequenas trincas sub-horizontais nas pranchas, bem como maciços remanescentes preservados. Já nos cortes ascendentes (8c e 8d) podem ser observadas trincas ascendentes propagadas a partir do canto esquerdo das pranchas. O corte misto para a prancha 10 m por 10 m mostra resultado bastante semelhante ao do corte ascendente. Para pranchas 10 m por 20 m o corte com seqüência mista exibe resultados um pouco melhores se comparado ao corte descendente, em termos de danos à prancha. De uma forma geral, pode-se concluir que os cortes descendentes e mistos são superiores aos cortes ascendentes.

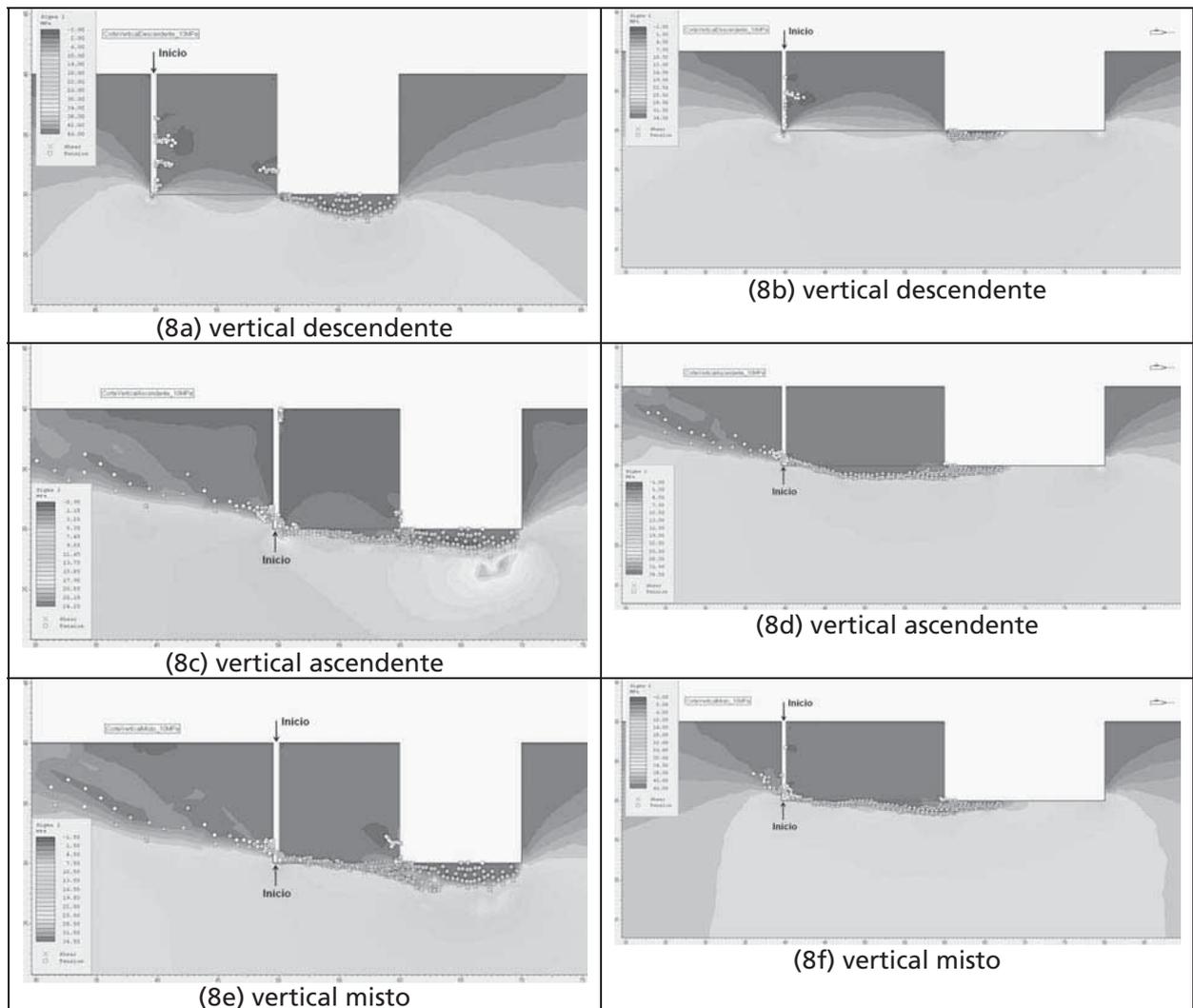


Figura 8: Resultados dos modelos com cortes iniciais verticais.

Pode-se verificar ainda nas Figuras 6 a 8, que devido à propagação de trincas em todos os modelos mostrados, as pranchas tornam-se liberadas dos maciços remanescentes e por isso assumem tensões principais máximas próximas a zero após a execução dos cortes iniciais, tanto para os cortes iniciais horizontais quanto para os cortes iniciais verticais.

CONCLUSÕES

Com base nos modelos de elementos finitos bidimensionais executados no presente trabalho são extraídas as conclusões seguintes:

- Modelos de elementos finitos convencionais de previsão de propagação de fraturas necessitam de malhas bastante refinadas, conjugadas à aplicação de pequenos incrementos nas cargas resultantes do processo de corte / escavação.
- Cortes cegos executados de maneira simultânea reduzem o surgimento de trincas, tanto nas pranchas a serem liberadas, quanto no maciço remanescente.
- Os danos apresentados pelos cortes horizontais externos ficam limitados às bases das pranchas e o maciço remanescente é preservado, portanto esses tipos de corte são mais vantajosos que os cortes horizontais iniciados no interior dos maciços.
- De uma forma geral, pode-se concluir que os cortes verticais descendentes são superiores aos cortes verticais ascendentes, principalmente no que tange à preservação do maciço remanescente.
- Devido à propagação de trincas, após a execução dos cortes iniciais em todos os modelos analisados, as pranchas tornam-se liberadas dos maciços remanescentes, e por isso assumem tensões principais máximas próximas a zero.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro proporcionado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico PADCT, através do projeto “Aplicação de Tecnologia para o Aproveitamento Racional de Rochas Ornamentais na Paraíba via Projeto Cooperativo envolvendo UFCG e UFRGS”, Edital MCT/CNPq/PADCT 2003, processo 620146/04.4. Agradecimentos são devidos também à empresa Fuji S/A, pela facilitação aos trabalhos de campo na área de Pocinhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADEI, B.; STEPHANSSON, O. Rock Stress and its Measurement. London, Chapman & Hall, 1997, 490p.
- CORTHÉSY, R. & LEITE, M.H. A strain softening numerical model core discing and damage., Int. J. Rock Mech. Mining Sci., 2007, article in press.
- FRANKLIN, J.A.; DUSSEAUT, M.B. Rock Engineering. New York, McGraw-Hill, 1989, 600p.

- HOEK, E.; BROWN, E.T. *Underground Excavations in Rock*. London, Inst. Min. Metall., 1980, 527p.
- LIMA, A.A *et al.* *Aplicação de Tecnologia para o Aproveitamento Racional de Rochas Ornamentais na Paraíba via Projeto Cooperativo Envolvendo UFCG e UFRGS, Relatório Técnico, Apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Referente ao Processo 620.146/2004-4, Edital MCT/CNPq/PADCT, 2007,62p.*
- ROCSCIENCE, INC. *Phase2 - 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations. User's Guide*. Toronto, 2001,181p.
- SANTOS, E.J; FERREIRA, A.A; SILVA JR., J.M.F. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba*, Recife, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2002,142p.

CAPÍTULO 15

ANÁLISE ECONÔMICA DO GRANITO ORNAMENTAL "GOLDEN PEACH" (CURRAIS NOVOS-RN)

*Robson Ribeiro Lima¹, Aarão de Andrade Lima, Julio Cesar de Souza,
Márcio Luiz Siqueira Campos Barros*

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da Rocha Ornamental "Golden Peach". A pedreira localiza-se nas Fazendas Marcação e Barra Verde, situada nas proximidades da cidade de Currais Novos-RN. Para desenvolvimento da avaliação econômica da pedreira foram realizados levantamentos de todos os custos operacionais da empresa. A data base do estudo foi abril de 2003. A atratividade do empreendimento foi medida mediante o método de fluxo de caixa que culminou no cálculo dos indicadores de rentabilidade, como o Valor Presente Líquido (VLP), a Taxa Interna de Retorno (TIR). Na fase final do trabalho foi feita a análise de sensibilidade para a TIR e VPL. As variáveis críticas estudadas foram produção média mensal de blocos e custos operacionais. Foi também desenvolvida uma simulação dos efeitos da variação da taxa de câmbio sobre a rentabilidade geral do empreendimento. Pelos resultados obtidos, observou-se que o projeto era mais sensível a desvalorização do dólar e a redução da produção mensal de blocos o que foi comprovado nos anos seguintes. Esse fato evidencia a importância de se verificar a sensibilidade do projeto a mudanças nos parâmetros econômicos estimados na etapa de projeto, antes da implantação do empreendimento.

Palavra-Chave: Granito Ornamental, Avaliação Econômica, Golden Peach, Rio Grande do Norte.

¹ Mestrando, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE. E-mail: robsonlimal@bol.com.br

1. INTRODUÇÃO

Para desenvolvimento da avaliação econômica e de custos da pedra de granito ornamental Golden Peach. Localizada nas Fazendas Marcação e Barra Verde, situada nas proximidades da cidade de Currais Novos-RN. Foi realizados levantamentos dos custos operacionais da empresa e do custo de aquisição e depreciação dos equipamentos de Lavra. A data base do estudo foi abril de 2003. Com esses dados definiram-se os custos de capital e operacional, individualizar os custos fixos e variáveis e, com os dados de previsão e vendas, determinar os custos de produção bem como a rentabilidade geral do empreendimento. Na fase final do trabalho foi feita análise de sensibilidade para a TIR e VPL. As variáveis críticas ou estratégicas estudadas foram produção média mensal de blocos, custos operacionais variáveis e simulação dos efeitos da variação da taxa de câmbio.

2. MATÉRIAS E MÉTODOS

Para o início das atividades de Lavra foi investidos na compra de máquinas, equipamentos e acessórios, um capital estimado num valor de 1.100.000,00 R\$ Tabela I, esses valores de investimentos (em dólar) foram convertidos em real para a data base de abril 2003 através dos índices econômicos mais adequados a partir dos custos existentes de aquisição dos equipamentos existentes na pedra, conforme informação administrativa.

Tabela I: Composição dos investimentos da pedra

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QT.	VALOR UNITÁRIO (R\$)	AQUISIÇÃO TOTAL (R\$)
PÁ CARREGADEIRA 966	unidade	01	300.000,00	300.000,00
Compressores XA 175	unidade	02	55.000,00	110.000,00
Perfuradores 658	unidade	06	2.084,00	12.504,00
Afiadores de brocas	unidade	01	1.500,00	1.500,00
Maq. de fio diamantado. TD45G	unidade	01	140.000,00	140.000,00
Fundo furo	unidade	01	40.000,00	40.000,00
Grupo gerador de 150 K Va	unidade	01	55.000,00	55.000,00
Pau de carga	unidade	01	4.000,00	4.000,00
Guinchos com capacid. de 40 ton.	unidade	01	12.500,00	12.500,00
Mangueira $\frac{3}{4}$	m	200	8,00	1.600,00
Lubrificadores de linha	unidade	07	200,00	1.400,00
Retro escavadeira	unidade	01	250.000,00	250.000,00
Talhas bloco vertical	unidade	01	20.000,00	20.000,00
Macaco hidráulico Pelegrini	unidade	01	40.000,00	40.000,00
Caminhão F4-1000	unidade	01	53.000,00	53.000,00
Camioneta Ranger	unidade	01	50.000,00	50.000,00
Jeep	unidade	01	5.000,00	5.000,00
TOTAL	-	-	-	1.096.500,00

2.1 Custo Direto de Produção da Pedreira Golden Peach

Os custos de produção são aqueles que ocorrem na extração dos blocos e serão estimados para:

- Produção de Blocos Anual: 2400 m³

- Produção Média Mensal: 200 m³
- Número de Funcionários da Pedreira: 24 homens
- Produtividade: $2400\text{m}^3/24/\text{homens}/12\text{ meses}/25\text{ dias} = 0,34\text{m}^3/\text{homem}/\text{dia}$

2.2 Mão de Obra (Direta e Indireta)

A mão de obra prevista para as operações de Lavra será mantida de acordo com a projeção de 200 m³/mês, podendo variar de acordo com o mercado. Portanto de acordo com a Tabela II, tem-se um custo anual de mão de obra da ordem de 314.880,00R\$.

Tabela II: Composição de custo com a mão-de-obra

DISCRIMINAÇÃO	QT.	VALOR UNITÁRIO (R\$)	CUSTO MENSAL (R\$/MÊS)	CUSTO ANUAL (R\$/ANO)
ENGENHEIRO DE MINAS	01	3.000,00	3.000,00	36.000,00
Marteleiros	06	400,00	2.400,00	28.800,00
Encarregado da pedreira	01	800,00	800,00	9.600,00
Operador de maq. 966	01	500,00	500,00	6.000,00
Operador de maq. de fio	02	1.100,00	2.200,00	26.400,00
Ajudantes de maq. de fio	02	500,00	1000,00	12.000,00
Serventes	04	200,00	800,00	9.600,00
Compressorista	01	400,00	400,00	4.800,00
Motorista	01	400,00	400,00	4.800,00
Mecânico	01	500,00	500,00	6.000,00
Vigia	01	200,00	200,00	2.400,00
Apoio Administrativo	02	200,00	400,00	4.800,00
Cozinheira	01	200,00	200,00	2.400,00
TOTAL	24	–	12.800,00	153.600,00
Encargos sociais	–	–	13.440,00	161.280,00
TOTAL	–	–	26.240,00	314.880,00

2.3 Material de Consumo da Pedreira

Os custos anuais com material de consumo estimados são apresentados na Tabela III material de consumo, totalizando um custo anual de: R\$ 1.187.670,00 R\$/ano.

Tabela III: Composição do custo operacional da pedra

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QT.	VALOR UNITÁRIO (R\$)	CUSTO MENSAL (R\$/MÊS)	CUSTO ANUAL (R\$/ANO)
FIO DIAMANTADO	m	25	500,00	12.500,00	150.000,00
Jogos de aços de 0,40 a 6,40	unidade	6	2.520,00	15.120,00	181.440,00
Rebolo	unidade	20	30,00	600,00	7.200,00
Engates	unidade	50	16,00	800,00	9.600,00
Abraçadeiras	unidade	50	16,00	800,00	9.600,00
Cabo de Aço 1"	m	800	14,00	11.200,00	134.400,00
Massa expansiva	kg	1000	5,00	5.000,00	60.000,00
Pólvora negra	kg	20	10,00	200,00	2.400,00
Cordel	m	50	0,70	35,00	420,00
Estopim	m	20	0,70	14,00	168,00
Espoletas simples	unidade	10	0,60	6,00	72,00
Espoletas elétricas	unidade	300	7,00	2.100,00	25.200,00
Manilhas	unidade	20	150,00	3.000,00	36.000,00
Clips 1" Polegama	unidade	100	10,00	1.000,00	12.000,00
Óleo diesel	l	1500	1,45	21.750,00	261.000,00
Gasolina	l	500	2,00	1.000,00	12.000,00
Água industrial	l	40.000	0,03	1.200,00	14.400,00
Brocas de perfuração	unidade	90	45,00	4.050,00	48.600,00
Bits	unidade	01	1.600,00	1.600,00	19.200,00
Lubrificante em geral	l	600	5,00	3.000,00	36.000,00
Manutenção*	-	-	-	5.000,00	60.000,00
TOTAL	-	-	-	89.975,00	1.079.700,00
Outros	-	-	-	8997,5	107.970,00
TOTAL	-	-	-	98.972,50	1.187.670,00

Para que toda a infra-estrutura montada mantenha-se perfeitamente funcionando, dentro dos critérios de higiene, segurança e operacionalidade se farão necessário um custo mensal previsto de R\$ 5.000,00 com manutenção de equipamentos, reparos, reposições e conservação. A Tabela IV abaixo indica os custos relativos a despesas de consumo de pessoal da mão-de-obra do empreendimento, totalizando 58.920,00 R\$/ano.

Tabela IV: Composição de consumo pessoal

DISCRIMINAÇÃO	QT	VAL. UNIT. (R\$)	MENSAL (R\$/MÊS)	CUSTO ANUAL (R\$/ANO)
Alimentação	-	3.500,00	3.500,00	42.000,00
Botas	18	15,00	270,00	3.240,00
Luvas	18	5,00	60,00	720,00
Máscaras	18	25,00	450,00	5.400,00
Protetor de ouvido	18	35,00	630,00	7.560,00
TOTAL			4.910,00	58.920,00

Custo operacional unitário total = ...

$$\dots \frac{(314.880,00 + 1.187.670,00 + 58.920,00)R\$}{2.400m^3} = \frac{1.561.470,00R\$}{2400m^3} = 650,61R\$/m^3$$

2.4 Determinação de custos fixos e variáveis

Os custos variáveis e fixos foram estimados a partir de dados levantados junto à pedreira Golden Peach e são apresentados nas Tabelas V e VI.

Tabela V: Determinação de custos variáveis

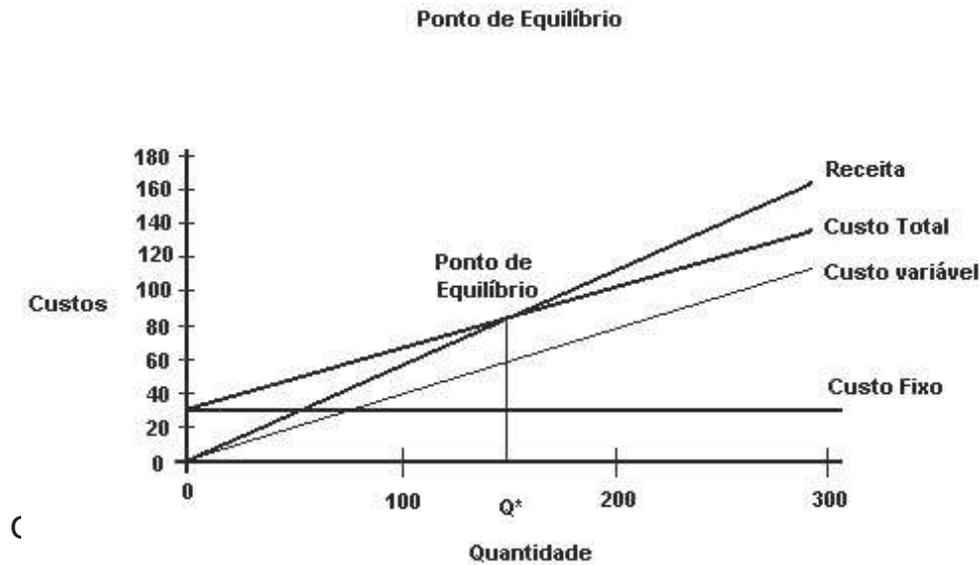
Item de custo	Custo unitário (R\$/m ³)
FIO DIAMANTADO	62,50
Jogos de aços de 0,40 a 6,40	75,60
Rebolo	3,00
Engates	4,00
Abraçadeiras	4,00
Cabo de Aço 1"	56,00
Massa expansiva	25,00
Pólvora negra	1,00
Cordel	0,18
Estopim	0,07
Espoletas simples	0,03
Espoletas elétricas	10,5
Manilhas	15,00
Clipse 1" Polegama	5,00
Óleo diesel	108,75
Gasolina	5,00
Água industrial	6,00
Brocas de perfuração	20,25
Bits	8,00
Lubrificante em geral	15,00
Manutenção	25,00
Alimentação	17,50
Botas	1,35
Luvas	0,30
Máscaras	2,25
Protetor de ouvido	3,15
Mão-de-obra direta + encargos	125,05
TOTAL	599,48

Tabela VI: Determinação de custos fixos

Item de custo	Custo anual (R\$)
DEPRECIAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	109.650,00
Vigia + encargos sociais	4.920,00
Apoio Administrativo + encargos sociais	9.840,00
Cozinheira + encargos sociais	4.920,00
TOTAL	129.330,00

2.5 Determinação do ponto de equilíbrio da pedreira "Break Even Point"

O Ponto de equilíbrio é o nível de produção onde ocorre o equilíbrio entre a receita total e os custos totais, a partir do qual a empresa passa a ter lucro. Veja o gráfico abaixo.



$$Q^* = CF/(p-cv)$$

Onde:

- Q^* - Ponto de equilíbrio
- CF - Custo fixo total
- p- Preço de venda
- cv- Custo variável unitário

Preço de venda médio:

$$\frac{(1.920,00 \text{ R\$/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 / \text{mês} + 1.120,00 \text{ R\$/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 / \text{mês})}{200 \text{ m}^3 / \text{mês}} = 1.520,00 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Margem de contribuição: } 1.520,00 - 599,48 = 920,52 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Ponto de equilíbrio} = \frac{129.330,00}{920,52} = 140,50 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Necessita-se, portanto de uma produção mensal de 11,71 m³ ou aproximadamente de 2 blocos.

3. RESULTADOS

3.1 Fluxo de caixa

A Análise econômico-financeira foi realizada através da estimação e determinação do fluxo de caixa anual para um período de 10 anos de operação da pedreira e após, o cálculo dos critérios de decisão valor presente líquido e taxa interna de retorno.

Para determinação do fluxo de caixa anual foram utilizadas as seguintes premissas básicas:

Blocos de 1ª qualidade (Mercado Externo)

- Produção anual de 1200 m³/ ano;
- Preço de venda FOB = 600,00 U\$/m³ = 1920,00 R\$/m³;
- Alíquota de ICMS de 12 % **(Isento)**;
- Alíquota de PIS/CONFINS de 2,65 % **(Isento)**;
- Alíquota de CFEM de 2 %;
- Alíquota de imposto de renda/Contribuição Social de 35 %.

Blocos de 2ª qualidade (Mercado Interno)

- Produção anual de 1200 m³/ ano;
- Preço de venda FOB = 300,00 U\$/m³ = 1120,00 R\$/m³;
- Alíquota de ICMS de 12 %;
- Alíquota de PIS/CONFINS de 2,65 %;
- Alíquota de CFEM de 2 %;
- Alíquota de imposto de renda/Contribuição Social de 35 %.

Investimento: 1.100.000,00 R\$ no Ano 0

Capital de Giro: 100.000,00 R\$ no Ano 0

Valor residual: 330.000,00 R\$ no ano 10

Custo operacional total: 1.566.150,00 R\$

Depreciação: 109.650,00 R\$

Royalties: 76.800,00 R\$

A planilha referente ao fluxo de Caixa está apresentada na tabela VIII a seguir.

Tabela VII - Análise de Sensibilidade														
DESCRIÇÃO		SIMUL.	UNID.											
1 - Produção média mensal		200,00	m ³ /mês											
2 - Produção média anual		2.400,00	m ³ /ano											
3 - Variação da taxa de câmbio		3,20	R\$/US\$											
4 - Produção para o mercado externo		1.200,00	m ³ /ano											
5 - Produção para o mercado interno		1.200,00	m ³ /ano											
6 - Preço de venda FOB para o mercado exte		600,00	US\$											
7 - Preço de venda FOB para o mercado inte		300,00	US\$											
8 - Valor do VPL		5.784.282,47	R\$											
9 - Valor do TRI		100,91%	%											

Tabela VIII - Fluxo Financeiro do Empreendimento													
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
1	Investimento	R\$/ano	-1.100.000,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Capital de Giro	R\$/ano	-100.000,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Produção para o Mercado Interno	m ³ /ano		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00
4	Produção para o Mercado Externo	m ³ /ano		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00
5	Preço Unit. pl o Mercado Interno	R\$/m ³		960,00	960,00	960,00	960,00	960,00	960,00	960,00	960,00	960,00	960,00
6	Preço Unit. pl o Mercado Externo	R\$/m ³		1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00	1.920,00
7	Receita Bruta Interna	R\$/ano		1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00	1.152.000,00
8	Receita Bruta Externa	R\$/ano		2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00
9	ICMS	R\$/ano		138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00	138.240,00
10	PIS/COFINS	R\$/ano		30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00	30.528,00
11	Receita Líquida Interna	R\$/ano		983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00	983.232,00
12	Receita Líquida Externa	R\$/ano		2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00	2.304.000,00
13	Receita Líquida Total antes CFEM	R\$/ano		3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00	3.287.232,00
14	CFEM	R\$/ano		65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64	65.744,64
15	Receita Líquida Total após CFEM	R\$/ano		3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36	3.221.487,36
16	Custos Fixos	R\$/ano		129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00	129.330,00
17	Custos Variáveis	R\$/ano		1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20	1.210.393,20
18	Royalty	R\$/ano		76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00	76.800,00
19	Depreciação	R\$/ano		109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00	109.650,00
20	Custo Total	R\$/ano		1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20	1.526.173,20
21	Lucro Bruto	R\$/ano		1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16	1.695.314,16
22	IR/Contribuição Social	R\$/ano		593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96	593.359,96
23	Lucro Líquido	R\$/ano		1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20	1.101.954,20
24	Valor Residual	R\$											330.000,00
25	Rec. Do Capital de Giro	R\$											100.000,00
26	Fluxo de Caixa Empr.	R\$/ano	-1.200.000,00	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.211.604,20	1.641.604,20

3.2 Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TRI)

Entre os métodos mais conhecidos destacam-se o do valor presente líquido VPL e o da taxa interna de retorno TIR, largamente utilizados nas análises de aplicações financeiras e projetos de investimentos (Vieira Sobrinho, 1997).

No método do valor atual calcula-se o valor atual do fluxo de caixa com o uso da taxa mínima de atratividade que neste caso é de 12%. Se este valor for positivo, a proposta de investimento é atrativa. Por outro lado, um valor atual negativo significa que se está investindo mais do que se irá obter, o que é, evidentemente, indesejável (Hess, 1970).

A taxa interna de retorno é a taxa que anula o valor atual do fluxo de caixa do investimento, ou seja, o valor atual da série (Hess, 1970).

Se a taxa interna de retorno for superior à taxa mínima de atratividade o investimento é atrativo.

Os resultados do cálculo dos critérios de decisão financeiros a partir do fluxo de caixa de operação para a pedreira Golden Peach apresentaram os seguintes valores:

- Valor presente líquido (12%, 10 anos): R\$ 4.969.885,20
- Taxa interna de retorno (10 anos): 88,9% a.a.

Ambos os critérios de decisão apontam portanto, a viabilidade do empreendimento com uma margem de lucro global da ordem de 88% do investimento inicial e retorno financeiro de aproximadamente R\$ 4.969.885,20 em valores atuais.

3.3 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consistiu em estimar parâmetros importantes no projeto que produzem oscilação do fluxo de caixa e dos indicadores de rentabilidade, valor presente e taxa interna de retorno quando acionados. Daí, a importância de se verificar a sensibilidade do projeto antes de sua implantação, para se poder conhecer qual maior ou menor será o risco de sucesso do projeto.

Para tal, foram abordados a Análise de Sensibilidade para as seguintes variáveis Tabela VII:

- Produção média mensal de blocos e custos operacionais o intervalo de variação para estes parâmetros foi de [50m³ a 200m³];
- Simulação dos efeitos da variação da taxa de câmbio o intervalo de variação para estes parâmetros foi de [2U\$ a 3U\$];
- Preço de Venda;
- Investimentos;
- Capital de giro;
- Custos Fixos;
- Custos Variáveis;
- Cálculos dos indicadores de rentabilidade do projeto (VPL, TIR).

4. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos nas análises técnicas e avaliação econômica pode-se concluir que:

- A média de produção mensal de blocos de primeira qualidade, principal produto da empresa, é de aproximadamente 100 m³/mês, refletindo também o pequeno porte das operações e metodologia de trabalho bastante artesanal.
- O custo fixo anual é de cerca de R\$ 129.330,00 ao ano e o custo variável de 599,48 R\$/m³. Considerando um preço de venda médio para produção de blocos de primeira e segunda qualidade conforme indicado na avaliação técnico-econômica, verificou-se que a produção mínima para equilibrar as despesas e receitas anuais é de 140,50 m³/ano ou a produção de apenas 2 blocos por mês. Esse resultado evidencia também a baixa mecanização da lavra e o uso intenso da mão-de-obra operacional.
- Os resultados da análise técnico-econômica e determinação dos critérios de decisão mostram a plena viabilidade do empreendimento com uma taxa de retorno da ordem de

88% ao ano. Esses resultados são decorrentes basicamente do preço de venda ser elevado absorvendo os desperdícios e pouca tecnologia empregada na lavra.

Pelos resultados obtidos na análise de sensibilidade, observou-se que o projeto era mais sensível (levando a inviabilidade do projeto) a desvalorização do dólar e a redução da produção mensal de blocos o que foi comprovado nos anos seguintes. Esse fato evidencia a importância de se verificar a sensibilidade do projeto a mudanças nos parâmetros econômicos estimados na etapa de projeto, antes da implantação do empreendimento, para definição dos parâmetros econômicos críticos que levam a um maior ou menor risco de insucesso do empreendimento.

BIBLIOGRAFIA

DE SOUZA, J. C.; TUBINO, L. C. B. Avaliação Econômica na Lavra de Rocha Ornamental – Granito Marrom Guaíba/RS. Recife-PE: III SRONE, 2002.

HESS, G. ; MARQUES, J. L. de M. ; PAES, L. C. Da R.; PUCCINI, A. Engenharia Econômica. Rio de Janeiro: 4.^a Edição, 1970.

SOUZA, P. Á. Avaliação Econômica de Projetos de Mineração: Análise de Sensibilidade e Análise de Risco. Belo Horizonte: letec, 1995. 247p.

VIEIRA SOBRINHO, J. D. Matemática Financeira. São Paulo: Atlas 6ed, 1997.

CAPÍTULO 16

CARACTERÍSTICAS DAS FRATURAS DO GRANITO ORNAMENTAL PRETO SÃO MARCOS (CASSERENGUE-PB) E SEU IMPACTO NA VIABILIDADE DE EXPLOTAÇÃO DA JAZIDA

Robson Ribeiro Lima¹, Vishwambhar Nath Agrawal, Aarão de Andrade Lima, João Lucena Ramos Neto

RESUMO

“O granito Preto São Marcos (PSM)”, encontrado no município de Casserengue-PB, aflora em forma de matacões e maciços. A rocha é classificada segundo a sua composição mineralógica como um piroxênio-biotita diorito. A jazida está sendo explorada pela empresa GRANFUJI. O presente trabalho tem como objetivo descrever as características das fraturas do granito PSM e analisar seu impacto na viabilidade de sua exploração como rocha ornamental. O Corpo Granítico encontra-se cortado por várias famílias de fraturas, preenchidas ou não, de espaçamentos variáveis, e por zonas de cisalhamento e veios de quartzo e quartzo-feldspato de larguras milimétricas a centimétricas e extensões métricas. Destacam-se as fraturas subhorizontais que acompanham a superfície topográfica e são aproveitadas como plano de base das bancadas e fraturas estreitamente espaçadas orientadas diagonalmente ao plano de base de bancada causando perdas no esquadrejamento. O tamanho e a qualidade dos blocos produzidos dependem, entre outros fatores, do número de famílias de fraturas, suas orientações, e seus espaçamentos. Assim, as fraturas constituem um fator importante na determinação da viabilidade econômica da lavra de uma jazida de rocha ornamental. No caso PSM, sua exploração continuará sendo viável se seu valor comercial continuar a superar os efeitos negativos dos problemas estruturais.

Palavra-Chave: Rocha Ornamental, Caracterização Fraturas, Preto São Marcos, Paraíba.

¹ Mestrando, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE. E-mail: robsonlima@bol.com.br

1. INTRODUÇÃO

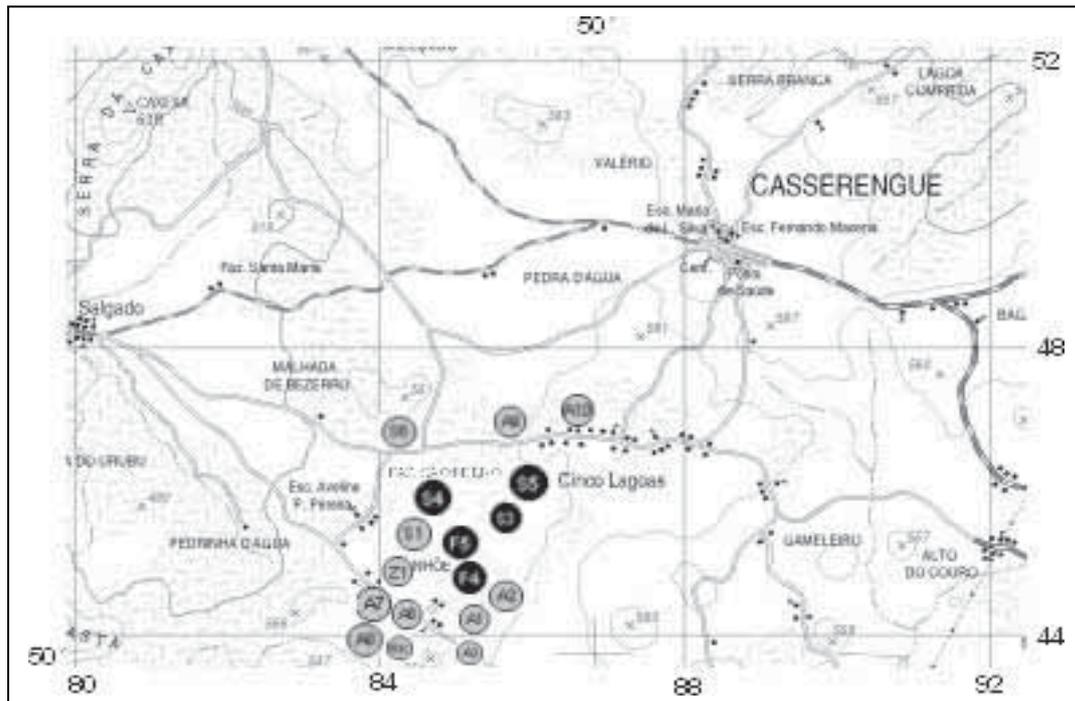
Fraturas se formam em maciços em todas as escalas, desde a microscópica até a macroscópica. São relacionadas às tensões que os maciços rochosos experimentam de tempo em tempo, ao longo de sua história geológica. Fraturas se desenvolvem também em resposta às tensões induzidas por escavações em regimes diferentes de tensão *in situ*. Em alguns casos, é possível estabelecer uma relação entre a geometria de fraturas (juntas e falhas), observadas na escala de afloramento e as estruturas regionais (dobras, falhas e zonas de cisalhamento regionais) e determinar com precisão a orientação de paleotensões regionais que causaram as fraturas. Em outros, é difícil estabelecer uma relação clara entre fraturas observadas em maciços rochosos e estruturas regionais. Qualquer que seja sua origem, as fraturas presentes num maciço rochoso constituem um dos fatores mais importantes que determinam a viabilidade de sua exploração para uso ornamental. O impacto de fraturas na viabilidade de jazidas depende de suas características, tais como número de famílias, orientação, persistência, espaçamento, morfologia, abertura, preenchimento e conectividade. Fraturas influem nas propriedades mecânicas de rochas ornamentais, na sua resistência a corrosão química, no tamanho e forma dos blocos lavráveis e na taxa de aproveitamento de jazidas. As características de fraturas precisam ser levadas em consideração na determinação de metodologia de lavra a ser adotada para extração de blocos. Os danos ao meio ambiente resultantes de operação de lavra são ligados, entre outros fatores, às características de fraturas. Os custos de medidas de proteção ao meio ambiente somam ao custo final de produção dos blocos a serem comercializados, e influem na viabilidade econômica de exploração de jazida de rocha ornamental.

O granito ornamental Preto São Marcos (PSM) aflora em forma de matacões e maciços dentro do Maciço São José do Campestre, na área do Sítio Pedrinha D'água, município de Casserengue, no Nordeste da Paraíba. A jazida está sendo explorada pela empresa GRANFUJI. O presente trabalho tem como objetivo descrever a geometria e outras características das fraturas afetando o granito PSM, como observadas em seus afloramentos naturais e na pedreira, e analisar seu impacto na viabilidade de exploração da rocha para fins ornamentais.

2. METODOLOGIA

2.1 Localização da área e afloramentos visitados

A área que está sendo lavrada pela GRANFUJI esta situada na região do Curimataú Estado da Paraíba, a 64km de Campina Grande, no município de Casserengue. Partindo da cidade de Campina Grande–PB, o acesso à pedreira é feito através da BR–104 até o município de Remígio (36Km). Em seguida segue-se pela PB–105 até o município de Arara (25Km); de onde prossegue-se por uma estrada sem pavimentação no sentido Arara–Gameleira, Segue-se então na direção da localidade de Cinco Lagoas, sendo a pedreira localizada no interior da fazenda São Pedro (Figura 1).



Fonte: Folha SB.25 – Y – A – IV – Solânea – PB MI – 1133 SUDENE (1º Ed. 1999) ESCALA 1:100000

Figura 1: Localização dos afloramentos visitados

2.2 GEOLOGIA

- A área de estudo, localizada na porção oriental do estado da Paraíba, sudeste da cidade de Barra de Santa Rosa, abrange o município de Casserengue ($06^{\circ} 47' 12''$ e $35^{\circ} 50' 00''$). É situada na parte sul da unidade geotectônica “Maciço São José do Campestre” (Dantas et al, 1998) da Província Estrutural Borborema (Região de Dobramentos Nordeste). As principais unidades lito-estratigráficas expostas na região incluem: um embasamento arqueano composto de complexos gnáissicos migmatíticos; faixas supracrustais de rochas metassedimentares de idade proterozóica; e mais de uma suíte de granitóides intrusivos de idade Brasileira. Falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes de idade Brasileira são feições estruturais mais importantes da região.
- O granito Preto São Marcos, não apresenta qualquer fábrica tectônica (foliação ou lineação). Os elementos estruturais comuns são fraturas preenchidas e, localmente, zonas de cisalhamento. As relações de campo sugerem que o granito Preto São Marcos pertence a uma das suítes de granitos Brasileiros (Figura 2).



Fonte: Modificado de LEITE DO NASCIMENTO (1990).

Figura 2: Detalhe do mapa geológico

2.3 PETROGRAFIA DO GRANITO PSM

Em afloramentos, o granito PSM apresenta um aspecto quase homogêneo, tanto na cor como na textura, e pode ser descrito como uma rocha ígnea, melanocrática, de granulometria média a grossa e textura hipidiomórfica a porfiirítica com fenocristais de até mais de um centímetro. Os fenocristais de biotita se destacam em afloramentos. Observa-se, em alguns afloramentos, xenólitos em rochas encaixantes de tamanhos centimétricos que apresentam margens subarredondadas e se destacam pelas cores claras e uma foliação (Figura 3). Uma análise petrográfica em lâminas delgadas mostra que o granito PSM é composto principalmente de plagioclásio (andesina-oligoclásio), piroxênio (clinohiperstênio), e biotita, podendo ser classificado como um piroxênio-biotita diorito (Lima et al., 2001).

2.4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO GRANITO PSM

Na escala mesoscópica, o granito PSM é uma rocha quase homogênea e isotrópica, que se encontra cortada por várias famílias de fraturas, preenchidas ou não, de extensões e espaçamentos variáveis, e veios e zonas de cisalhamento. Entre as fraturas, destacam-se fraturas subhorizontais (fraturas de esfoliação), acompanhando a superfície topográfica, que podem ser observadas em toda parte do afloramento do granito PSM. Essas apresentam extensões métricas e espaçamento de dezenas de centímetros a mais de um metro. Além de fraturas subhorizontais, observa-se pelo menos quatro famílias de fraturas inclinadas e subverticais, preenchidas por quartzo ou quartzo-feldspato, e não preenchidas, apresentando extensões métricas e espaçamento variando de menos de 10 cm até mais de 50 cm. As famílias de fraturas subverticais, não preenchidas, apresentam as seguintes direções: N45E, N10W e N45-55W. Uma família de fraturas inclinadas preenchidas, apresenta direção N83E e mergulho de 65° para SE. Algumas fraturas isoladas preenchidas apresentam as seguintes orientações: N20E, 58 NW; N70W, 45 SW; N40W, 45 SW. A densidade de fraturas não é uniforme na área de afloramento do granito PSM. Zonas de cisalhamento, marcadas pelo desenvolvimento de uma foliação, apresentam extensões de dezenas de centímetros e larguras milimétricas a centimétricas. Veios finos de quartzo e quartzo-feldspato, de orientações variáveis, encontram-se cortando o granito PSM (Figura 4).



Figura 3: Xenólitos variando de tamanhos com margens subangulares a subarredondados



Figura 4: Matacão cortado por veios de quartzo.

3. RESULTADOS

A qualidade de rocha ornamental varia em função de suas características geológicas básicas, tais como composição mineralógica, cor, brilho, textura, macro e microestrutura, susceptibilidade ao intemperismo, resistência físico-mecânica, etc (Chiodi Filho, 1994, 1995). Entre essas características, fraturas e outros tipos de descontinuidades constituem um fator importante na determinação da viabilidade econômica de exploração de uma jazida de rocha ornamental.

Como exposto, o corpo do granito PSM encontra-se cortado por várias famílias de fraturas, e zonas de cisalhamento e veios de quartzo e quartzo-feldspato. As fraturas subhorizontais são aproveitadas como plano de base das bancadas abertas em maciços. No entanto, nas partes dos maciços, onde essas fraturas são estreitamente espaçadas, a retirada dos blocos de dimensões padrão é inviabilizada. Os matacões e as partes dos maciços que apresentam altas densidades de fraturamento, também se tornam inviáveis para a retirada dos blocos de tamanho padrão. A presença de zonas de cisalhamento e veios, orientados diagonalmente ao plano de base da bancada ou ao comprimento de matacão, causa perdas no esquadrejamento e resulta em menores dimensões dos blocos (Figura 5). Com objetivo de reduzir as perdas, as furações para o esquadrejamento são feitas paralelas às zonas de cisalhamento e veios.

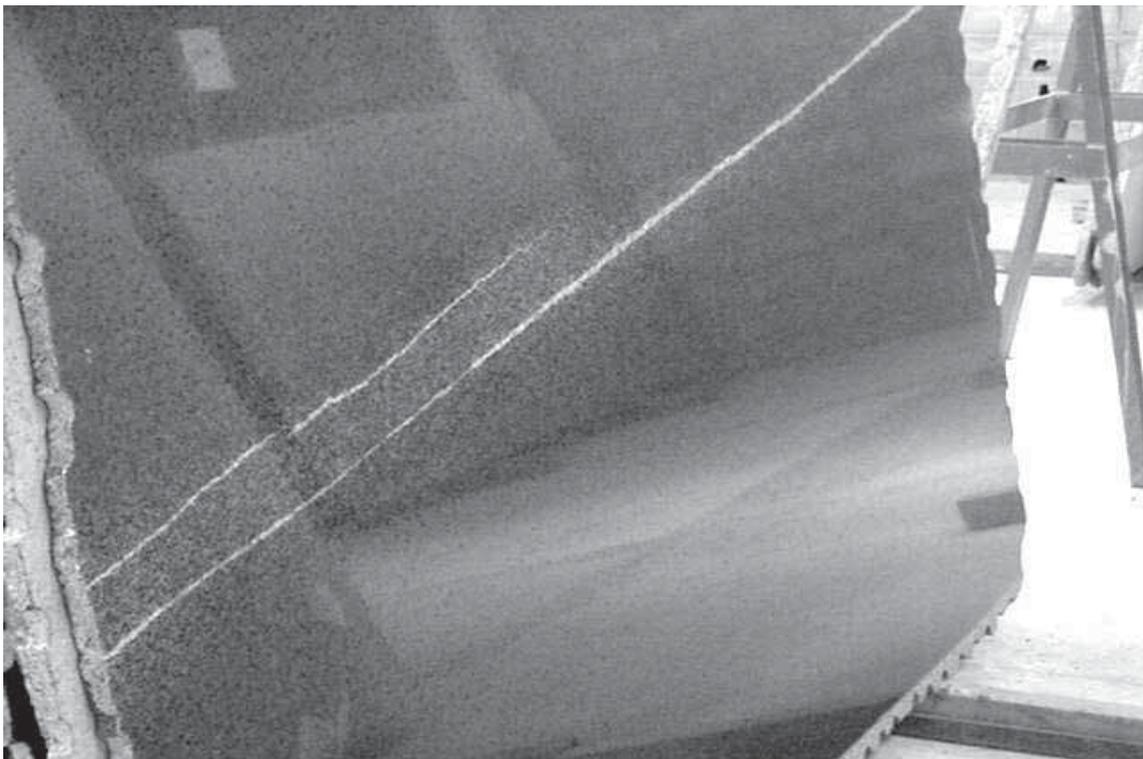


Figura 5: Veios de quartzo cortando a chapa polida do Granito PSM.

4. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O número de famílias de fraturas, suas orientações e seus espaçamentos têm impacto direto sobre o tamanho dos blocos lavráveis, a quantidade de rejeito resultante e a taxa de aproveitamento de uma jazida de rocha ornamental, e influem no custo de medidas de proteção ao meio ambiente. A viabilidade de sua exploração depende da relação de custo de produção de blocos e seu valor comercial. No caso do granito PSM, sua exploração para uso ornamental continuará sendo viável se seu valor comercial continuar a superar os efeitos negativos das suas feições estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIODI FILHO, C. Pesquisa geológica: o primeiro passo: Rochas de Qualidade, Ed. 117, 1994. p. 58-71.
- _____. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais: Rio de Janeiro: Serie Estudos e Documentos, n. 28, 1995. 75p.
- LEITE DO NASCIMENTO, M. A.; GALINDO, A.C.; JARDIM DE SÁ, E. F. Geologia e Petrografia do Granitóide Caxexa e suas rochas encaixantes: Relatório de Graduação: Natal: Geo 034, UFRN/CCET/DG, 1990.
- LIMA, R. R. Identificação dos principais elementos estruturais e análise petrográfica para exploração de granito ornamental Preto São Marcos no estado da Paraíba: Campina Grande: DMG-CCT, UFPB, 2002. 25p. (Relatório de atividades do Estágio).
- LIMA, R. R.; AGRAWAL, V. N.; LIMA, A. A.; LIMA, W. B. C. Característica petrográfica e metodologia de lavra adotada para exploração do granito ornamental Preto São Marcos-Casserengue (PB): NATAL: In: XIX SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 2001. Resumos v. 17. p. 177.

CAPÍTULO 17

CONTROLE DO PROCESSO DE DESDOBRAMENTO DE DIVERSAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, EM FUNÇÃO DE SUAS CARATERÍSTICAS PETROGRÁFICAS E TECNOLÓGICAS

Antonio Augusto Pereira de Souza¹, Djane de Fátima Oliveira, Ramon Rodrigues

INTRODUÇÃO

O Brasil é geologicamente privilegiado, no que diz respeito à diversidade de rochas ornamentais, possuindo jazidas com as mais variadas cores, texturas e de excelentes desempenhos dos aspectos físicos e mecânicos da rocha, especialmente em granitos, com grande aceitação e aplicação em obra de elevado grau de exigência (SOUSA e RODRIGUES, 2002).

A Região Nordeste é uma das áreas mais requeridas quanto à pesquisa e exploração dessa atividade industrial, que está em grande expansão e influência significativamente a balança comercial do Brasil. Por outro lado, ao se analisar a indústria de rochas ornamentais e de revestimento no contexto da realidade econômica e social dessa região, uma série de fatores justifica a viabilidade dessa atividade, qualificando-a como estratégica para a consolidação de um processo auto-sustentável de desenvolvimento econômico e social do nordeste brasileiro (VALE, 1997).

Dentre esses aspectos destacam-se:

- A expansiva extensão geográfica das áreas geologicamente favoráveis – cristalino – à ocorrência de rochas ornamentais na Região Nordeste eleva a indústria de rochas ornamentais à categoria de reconhecida vocação regional;
- a grande diversidade de rochas com cores, padrões e texturas diversas, principalmente nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Pernambuco e Bahia, com forte apelo comercial frente às necessidades do mercado internacional e, portanto, grande capacidade de geração de divisas;
- a significativa interseção geográfica entre as áreas de maior potencial geológico e a extensa região do semi-árido, caracterizada pela adversidade climática e pela carência de alternativas econômicas mais perenes, sugerindo uma expressiva sinergia econômica e social com o setor em estudo, à luz dos seculares desafios impostos ao desenvolvimento da região;

¹ Químico Industrial e Engenheiro Civil, Ph.D., Professor titular da Universidade Estadual da Paraíba, UEPB-CCT-DQ. E-mail: aauepb@gmail.com

- o perfil técnico-econômico do setor, receptivo à implementação de pequenas e médias unidades produtivas ao longo de toda uma cadeia industrial, favorecendo, inclusive, uma imobilização gradual de recursos, a partir de uma conceituação modular para os projetos;
- no contexto da criação de empregos estáveis, como política estrutural de combate à miséria da região, a indústria de rochas ornamentais e de revestimento apresenta distintas vantagens (socialmente) competitivas, ao acomodar espaço para a implementação de programas.

Os granitos da Região Nordeste são exclusivos e de formação geológica específica, por exemplo, pegmatitos, predominando maciços rochosos, cujo método de lavra é de custo alto. Contudo, essa raridade de granito dessa região brasileira tem grande aceitação internacional conseguindo agregar valor comercial ao produto. Conseqüentemente, deve-se empregar tecnologias avançadas, que melhore os processos produtivos em qualidade e quantidade. Dentre as principais técnicas de desmonte em maciço rochoso têm-se o corte de fio helicoidal, por fio diamantado, corte a fogo e argamassa expansiva, sendo este, um dos mais procurados pelas indústrias extrativas.

O comércio de rochas ornamentais envolve transações com materiais brutos e produtos manufaturados (acabados ou semi-acabados). Os materiais brutos possuem menor valor na comercialização, não devendo, portanto constituir a base prioritária de negócios para o mercado externo. No mercado externo a comercialização de chapas polidas proporciona uma receita três a quatro vezes maiores, por metro cúbico, que a venda em bloco. A venda de produtos finais, por sua vez, permite gerar uma receita seis vezes maior, por metro cúbico, que a venda em bloco (PEITER, 2001).

Os produtores tradicionais, fornecedores e detentores da melhor tecnologia, como Itália, Grécia e Espanha, vêm assistindo, mais recentemente, o incremento da produção nos países emergentes, especialmente China, Índia e Brasil, que operam com custos mais atrativos e com participação crescente na composição da oferta mundial. Desses países, a China representa a maior ameaça ao mercado, produzindo em larga escala, mas com padrões de qualidade e preços inferiores aos dos produtores tradicionais Segundo o (BNDES, 2003).

Segundo Peiter (2001) existem condições favoráveis para o Brasil incrementar a produção interna, tanto de mármore quanto de granitos processados e beneficiados, visando o aumento das suas exportações. O país apresenta competitividade no segmento de mármore e granitos com baixos custos de produção, fato este que, aliado à abundância e diversidade das reservas de granitos, que abrangem cerca de 500 variedades comerciais, faz o diferencial em relação a outros produtores mundiais, situando-se entre os oito maiores produtores mundiais, embora não detendo ainda a melhor tecnologia nas máquinas de beneficiamento.

Atualmente, com novas tecnologias na lavra de rochas ornamentais, especialmente o uso de fio diamantado conjugado com a aplicação de argamassa expansiva é possível preservar e otimizar a extração de rochas que eram impossíveis de serem retirados com a técnica de explosivos ou cunha mecânica. Além disso, no processo de beneficiamento, nos últimos dez anos têm sido amplamente aplicados o sistema de resinação do granito com resinas de sistema epóxi, o que confere resistência e acabamento superficial de grande aceitação estética e comercial (SOUSA e RODRIGUES, 2002).

Segundo Frazão (2002) as rochas ornamentais são materiais nobres, destacando-se propriedades únicas, como a estética, durabilidade, resistência física, química e mecânica e de grande flexibilidade no uso, permitindo a obtenção de peças com formatos e dimensões variáveis.

O desdobramento de granito é feito em máquinas denominadas de teares em unidades chamadas de serrarias. O tear de lâminas, conforme Figura 2.3, é um engenho de múltiplas lâminas de aço, que auxiliada por uma lama abrasiva composta de granalha de aço, cal e água (esses dois últimos evitam a oxidação do aço da granalha e lâmina, além disso, também lubrificam as lâminas), corta os blocos de granitos num movimento de vai-e-vem. Blocos de mármore são mais usados os teares com lâminas diamantadas, não necessitando da lama abrasiva. Atualmente, já estão sendo comercializados teares de fio diamantados que apresentam viabilidade técnica e econômica competitivas com os teares de lâminas (SOUSA, 2007).

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo produtivo de desdobramento de rochas ornamentais observando a influencia da dureza do material, em função da elevada variação no consumo dos principais insumos como: granalha, lâmina e energia elétrica, correlacionando a dureza dos granitos com caracterização petrográfica e a produtividade do desdobramento de rochas ornamentais no tear.

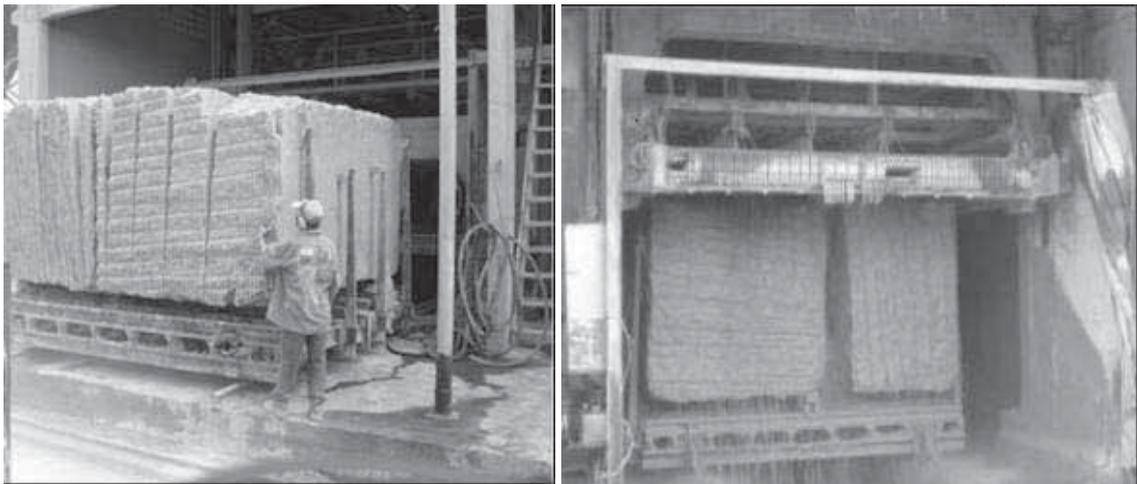


Figura 1: Tear de Lâminas usado no desdobramento de blocos de granitos em chapas na empresa FUJI S/A – Campina Grande/PB.

METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado na empresa FUJI S/A Mármore e Granitos, localizada na cidade de Campina Grande/PB, cuja serraria possui 3 teares GASPARI MENOTTI, dois JS 350 e 1 JS 380 (italianos), com 3,50 m de largura, sistema de alimentação automatizado e elevado nível de automação, tendo capacidade instalada de aproximadamente 10.000 m²/mês. As serradas analisadas foram realizadas no ano de 2007. Permaneceram constantes os colaboradores do setor de serraria, bem como o engenheiro de produção, e o encarregado.

Os insumos utilizados nos desdobramentos são de fornecedores que atendem as normas nacionais e/ou internacionais, com sistemas de gestão da qualidade, isto lhes confere confiabilidade e credibilidade para aquisição dos mesmos. Os insumos analisados foram a granalha de aço GR-04 da Sinto (São Paulo/Brasil), a Lâmina de aço, altura de 120 mm e espessura de 5,0 mm da Metisa (Santa Catarina/Brasil) e a energia elétrica utilizada é da Companhia Energética da Borborema- CELB localizada na cidade de Campina Grande/PB.

A escala de dureza adotada pela FUJI S/A é a escala recomendada pela empresa fornecedora, fabricante de granalha de aço, que sugere uma escala em função do consumo de granalha, conforme mostrado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Escala de dureza em função do consumo de granalha fornecida pela IKK.

DUREZA	CONSUMO DE GRANALHA
1	0 e 1 kg/m ²
2	1 e 2 kg/m ²
3	2 e 3 kg/m ²
4	3 e 4 kg/m ²
5	> 4 kg/m ²

Fonte: Empresa IKK fabricante de granalha de aço.

Os granitos analisados foram o Preto, proveniente do Município de Casserengue/PB, o Bordeaux no Município de Currais Novos/RN e o Macambira do Município Aparecida/PB. A Caracterização destes granitos foi realizada no Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, conforme normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização dos granitos em estudo segundo as normas da ABNT.

GRANITO	NBR 12768	NBR - 12766	NBR 12767	NBR 12764
	Petrografia	Porosidade (%)	Compressão Uniaxial (MPa)	Impacto de corpo Duro – Ruptura (cm)
Preto	Piroxênio biotita-diorito	1,60 ± 0,28	130 ± 11	65
Bordeaux	Plagioclásios	0,82 ± 0,07	143 ± 11	70
Macambira	Plagioclásios	0,46 ± 0,02	151 ± 19	70

A capacidade volumétrica útil dos teares e a taxa de ocupação da FUJI S/A - Mármore e Granitos é o dado pelas equações abaixo:

Capacidade do tear = Largura x altura x comprimento

$$\text{Volume} = 3,5 \times 3,1 \times 2,0 = 21,70 \text{ m}^3.$$

Portanto, a capacidade volumétrica da serraria da FUJI S/A calculada para a determinação da taxa de ocupação deste trabalho é de:

$$\text{Volume total} = N.Q \text{ serradas (3)} \times 21,7 \text{ m}^3 = 65,10 \text{ m}^3$$

A taxa de ocupação indica o percentual do volume do tear, nesse estudo calculado acima ($65,10 \text{ m}^3$), que está sendo ocupado com o volume líquido de blocos de granito.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos nos registros de produção dos documentos operacionais interno do Sistema de Gestão da Qualidade da FUJI S/A, referente ao setor de tear, conforme procedimento de operação, controle e registro de serrada- RQ-9.1 e RQ-9.2, onde registram os seguintes dados e parâmetros de controles do processo:

- **RQ-9.1** - dados dos blocos, como tipo de granito, medidas dos blocos, fornecedores dos insumos, data e hora de início e término da serrada e horas trabalhadas efetivas e horas de paradas e/ou manutenção.
- **RQ-9.2** - análise na lama abrasiva, que são as inspeções da viscosidade, que serve de parâmetro de controle da qualidade da lama abrasivas, quantidade de granalha, em g/L e peso específico, em g/L. No painel eletrônico do tear (PLC) são fornecidas as informações da cala (velocidade instantânea de corte, em mm/h), amperagem do volante e da bomba, posição da Lâmina dentro do bloco (mm), produção (m^2/h), tensão da lâmina e consumo de granalha (kg/m^2).

Esses dados são registrados pelos operadores e supervisionados pelo encarregado. A disposição e ações imediatas durante o processo são da responsabilidade dos operadores, que estão devidamente treinados para tomada de decisão. As análises dos resultados são feitas pelo engenheiro de produção.

A Tabela 3 apresenta a média do consumo dos principais insumos no desdobramento utilizados para os granitos em estudo. Os resultados apresentados nesta tabela são referentes aos parâmetros estudados neste trabalho, com as médias de três serradas para blocos com 1,80 m de altura. A área em m^2 considerada neste estudo refere-se ao aproveitamento das medidas comerciais das chapas, levando em conta o desconto de 5 cm da menor extremidade do comprimento e altura da chapa.

De acordo com a esta Tabela 3 pode-se observar que quanto menor a porosidade maior a resistência à compressão, isto irá acarretar em um melhor desempenho do granito macambira em estudo.

Tabela 3: Média do consumo dos principais insumos no desdobramento utilizados para os granitos em estudo.

GRANITO	Dureza conforme escala dos fornecedores	Granalha	Lâmina	Energia Elétrica
		Kg/m ²	Kg/ m ²	KWh/m ²
Preto	1	1,00 + 0,05	0,50 ± 0,01	7,5 ± 0,5
Bordeaux	3	3,00 ± 0,15	1,3 ± 0,09	14,4 ± 1,2
Macambira	5	4,20 ± 0,28	1,8 ± 0,12	16,8 ± 1,4
Fornecedor		SINTO DO BRASIL	METISA	CELB

Observando a Tabela 3 pode-se verificar que o granito Macambira é o que apresenta maior dureza, conseqüentemente apresentou um maior consumo de granalha, lamina como também um maior consumo de energia. Através dos resultados apresentados na Tabela 3 que referente-se às três serradas para cada tipo de granito, ou seja, Preto, Bordeaux e Macambira, pode-se verificar que quanto maior a dureza, melhor o desempenho mecânico ocasionando um maior o consumo de insumos.

Segundo Sousa e Rodrigues (2002) nas várias serrarias com teares existem percepções distintas do grau de dureza da rocha, o que corrobora para esconder a ineficiência de uma empresa, pois, é comum ouvir no jargão nessa atividade industrial, a seguinte afirmativa: "os custos de produção e o consumo dos insumos elevados são por culpa do material, que é muito duro". Assim pode-se afirmar que a quantidade de serradas foi compatível com os tipos de granitos estudados neste trabalho e que a dureza dos mesmos encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pelo fornecedor, apresentando resultados de desempenho e controle de processo dentro das expectativas.

Estes resultados favoráveis indicam que a empresa FUJI S/A – Mármore e Granitos, possui tecnologia de processo adequado para obtenção de resultados satisfatórios de produtividade, totalmente competitiva para participação no mercado das indústrias de desdobramento de granitos. Por outro lado, estudo de correlação entre as características petrográficas dos granitos e aspectos tecnológicos de processamento deve evoluir com mais conhecimento, buscando disponibilizar dados científicos para as indústrias de beneficiamento, desta forma, minimizando a produção empírica e promovendo a produtividade eficiente e eficaz, garantindo a competitividade das indústrias de desdobramento de rochas ornamentais do Nordeste do Brasil.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que o processo produtivo de desdobramento de rochas ornamentais é influenciado pela dureza do material, em função da variação no consumo dos principais insumos como: granalha, lâmina e energia elétrica; caracterizando-se claramente a correlação entre a dureza do granito e o consumo dos insumos, ou seja, quanto mais duro o granito maior o consumo dos insumos. Contudo, é importante avaliar cada vez mais, o controle de processo, visando otimizar os custos e a produtividade das serradas, pois dessa forma, é que se justifica a busca constante do aperfeiçoamento dos processos produtivos.

REFERÊNCIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 12764. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 1992
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 12766. Rochas para Revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. 1992
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 12767. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial. 1992.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 12768. Rochas para revestimento - análise petrográfica. 1992
- BNDES Setorial. Banco Nacional de Desenvolvimento. Rochas Ornamentais: exportações promissoras Rio de Janeiro, n. 17, mar. 2003, p. 69-92.
- FRAZAO, E. B., Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 132p. 2002.
- SOUSA, A. A. P. Desenvolvimento de Argamassa Expansiva para Lavra de rochas Ornamentais Utilizando Minerais Não-metálicos da Região Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado Campina Grande/PB. 114p. 2007
- SOUSA, A. A. P. e RODRIGUES, R., Consumo dos Principais Insumos no Desdobramento de granitos do Nordeste, de Diferente Grau de Dureza. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais. 2002, Recife- PE. Anais. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério das Ciências e Tecnologia. Recife/PE, p.171-178. 2002.
- VALE, Eduardo. Aspectos Legais e Institucionais do Setor de Rochas Ornamentais. Vol 1. Fortaleza, 1997. Instituto Euvaldo Lodi.
- PEITER, C. C. et al., Rochas Ornamentais no Século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. CETEM/ABIROCHAS. Rio de Janeiro, 160p. 2001.

AGRADECIMENTOS

FUJI S/A – MÁRMORES E GRANITOS

UEPB – Universidade estadual da Paraíba

CAPÍTULO 18

CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ARGAMASSAS EXPANSIVAS COMERCIAIS IMPORTADAS PELO BRASIL

Antonio Augusto Pereira de Souza¹, Helio de Lucena Lira, Gelmires de Araújo Neves, Rômulo Augusto Ventura Silva; Walber Alexandre do Nascimento

INTRODUÇÃO

Os granitos da Região Nordeste são exclusivos e de formação geológica específica, por exemplo, pegmatitos, predominando maciços rochosos, cujo método de lavra é de custo alto. Contudo, essa raridade de granito dessa região brasileira tem grande aceitação internacional conseguindo agregar valor comercial ao produto. Conseqüentemente, devem-se empregar tecnologias avançadas, que melhore os processos produtivos em qualidade e quantidade. Dentre as principais técnicas de desmonte em maciço rochoso têm-se o corte de fio helicoidal, por fio diamantado, corte a fogo e argamassa expansiva, sendo este, um dos mais procurados pelas indústrias extrativas (SOUSA, 2007).

A tecnologia que utiliza argamassa expansiva é baseada no processo de hidratação do óxido de cálcio, com retardadores, que promove o aumento volumétrico devido à reação química, promovendo uma pressão expansiva dentro dos furos lineares na rocha, o suficiente para o seu desmonte. Além do mais, essas argamassas são usadas largamente na construção civil em áreas urbanas (onde o uso de explosivos é proibitivo) para rompimento de concreto, corte de pilares, vigas, etc. (CAIMEX, 2005).

O uso de argamassas expansivas apresenta inúmeras vantagens na lavra, pois é necessário o mínimo de perfurações linear na rocha, além de não provocar impacto ambiental e ser de simples aplicação não necessitando assim de mão-de-obra qualificada. Outra vantagem importante é a resposta no corte, resultando em cortes lineares contribuindo para o melhor aproveitamento e acabamento dos blocos de rochas ornamentais. O uso de explosivos muitas vezes não se obtém tal definição e irregularidades são comuns nos blocos. A desvantagem, hoje, do uso de argamassa expansiva é o seu elevado custo, por se tratar de um produto importado (ROGERTEC, 2006).

As principais empresas que fabricam as argamassas expansivas estão situadas na Itália, Espanha e China. Por isso, nesses países o seu uso é mais acentuado. O Brasil importa principalmente desses países, cerca de 160 toneladas por mês de argamassa expansiva, gerando um *déficit* na balança comercial mensal de aproximadamente US\$ 180 mil. Além disso, o nordeste brasileiro dispõe de matéria-prima adequada para preparação de argamassa

¹ Químico Industrial e Engenheiro Civil, Ph.D., Professor titular da Universidade Estadual da Paraíba, UEPB-CCT-DQ. E-mail: aauepb@gmail.com

expansiva, pois existem diversas lavras e beneficiamento de calcário, argila, gesso, fábricas de cimento, usinas de açúcar, etc.

Diante do exposto, é fundamental que estudos sejam viabilizados através da inovação, desenvolvimento tecnológico, capacitação profissional e parcerias entre empresas e universidades na busca de soluções técnicas que venham disponibilizar argamassas expansivas com custos e qualidades adequadas para se ampliar o uso desse produto no mercado nacional, tornando a atividade de mineração de rochas ornamentais mais atrativas e competitivas, portanto, este trabalho tem como objetivo a caracterização as argamassas expansivas importados pelo Brasil, fornecendo subsídios para desenvolvimento desta tecnologia no país.

ARGAMASSAS EXPANSIVAS

As argamassas expansivas existentes no mercado são produtos estudados e patenteados, obtidos de formulações específicas, portanto, sendo de fundamental importância à caracterização de algumas delas (origem italiana e chinesa).

Segundo Kawano et al., (1982) essas argamassas são preparadas pela pulverização de um clínquer obtido principalmente pela mistura de óxidos de cálcio (CaO), óxidos de silício (SiO₂) e sulfato de cálcio (CaSO₄). No entanto, Miki et al., (1970) substituiu o SiO₂ pelo Al₂O₃. Também estão presentes outros tipos de óxidos, como o de ferro e magnésio em menores quantidades. A calcinação do clínquer deve ser a alta temperatura, entre 1350 e 1550 °C.

De acordo com Moyer et al. (1980) também é formado o clínquer de uma mistura, onde ele destaca o uso de óxido de cálcio (80 – 95%), cimento Portland, hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e carbonato de cálcio (CaCO₃). Já conforme a patente de Rice et al., (1983) o clínquer consiste em CaO, Al₂O₃ e CaSO₄, que depois de pulverizado é acrescido de cimento Portland e gesso novamente.

Segundo Suzukawa et al., (1984) o clínquer é obtido da temperatura de 1000 a 1400°C e contém CaO (60%), CaF₂ (30%) e Al₂O₃ que depois de pulverizado é acrescido de óxido de alumínio novamente e gesso (CaSO₄) (1,0 - 3,5%). Recomenda atenção especial para evitar impureza no gesso, especialmente de P₂O₅, devido à diminuição da pressão de expansão.

Ishii et. al. (2005) estudou o uso de acelerador da reação, através da adição de CaCl em pequena proporção (0,2 – 5%) do peso, observando que a temperatura da reação de hidratação chega até 180°C (exotérmica) sem o acelerador e de 120°C com o CaCl, indicando a importância do acelerador para diminuir o tempo para se alcançar à pressão de expansão requerida no desmonte de rochas com a argamassa expansiva. No controle da cinética da reação tem sido sugerido o uso de compostos orgânicos, tais como da função ácido carboxílico e álcool, com o objetivo de retardar a hidratação dos óxidos da argamassa (LIRA et al., 2005).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho de caracterização de argamassas comerciais (chinesa e italiana) foram realizados os seguintes ensaios: análise química por fluorescência de raios-X (FRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise térmica diferenciada (ATD) e termogravimétrica (ATG), difração de raios-X (DRX), granulometria a laser e medição da pressão de expansão.

- 1. Análise química: este ensaio foi realizado pelo ensaio por fluorescência de raios-X (FRX), em um equipamento Shimadzu, modelo XRF-1800, sendo um ensaio semiquantitativo, com tubo de 3 kW e alvo de ródio, no Laboratório de Solidificação Rápida do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPB (João Pessoa/PB).
- 2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV): estes ensaios foram realizados num microscópio eletrônico de varredura – LEO 1430, da marca Shimadzu, do Laboratório de Solidificação Rápida do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPB (João Pessoa/PB).
- 3. Análises térmicas (ATD e ATG): estas análises foram realizadas no Sistema de Análise Térmicas modelo RB-3000-20 do Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB).
- 4. Difração de raios-X (DRX): estes ensaios foram realizados em um aparelho XRD 6000 no Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB). A radiação usada na construção do difratograma foi a $K\alpha$ do cobre.
- 5. Distribuição do tamanho de partículas: o granulômetro a laser usado nessa análise está localizado no Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB), da marca CILAS modelo 1064 para medida da distribuição granulométrica do material em uma faixa de tamanho entre 0,5 e 500 μm . O tempo de medida total é inferior a três minutos. Os resultados são expressos em curvas de distribuição granulométrica das partículas e também fornece o diâmetro médio das partículas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta a composição química obtida por fluorescência de raios-X feitos nas argamassas comerciais.

Analisando os resultados da Tabela 1, verifica-se que as argamassas comerciais italiana e chinesas apresentam alto teor de óxido de cálcio, CaO – aproximadamente 64% e 80%, respectivamente. Óxidos de silício, ferro, enxofre, e alumínio também fazem parte da composição de ambas e o óxido de sódio está presente apenas na italiana. Evidencia-se a presença de alguns traços de outros óxidos (K_2O , SrO e MnO) e também traços de cloro, provavelmente resultante dos retardadores usados nestas argamassas. A argamassa italiana ainda apresenta na sua composição traços de outros óxidos (CuO , TiO_2 e P_2O_5). A presença P_2O_5 na argamassa italiana não é recomendada, podendo comprometer o desempenho da pressão de expansão (SUZUKAWA, 1984).

Tabela 1 – Composição química das argamassas expansivas comerciais

Composição	Chinesa (% por peso)	Italiana (% por peso)
PR (perda ao rubro) (*)	15,85%	29,50%
CaO (óxido de cálcio)	79,62%	63,62%
SiO ₂ (óxido de silício)	3,61%	2,83%
Fe ₂ O ₃ (óxido de ferro)	0,27%	1,66%
SO ₃ (óxido de enxofre)	0,22%	1,24%
Al ₂ O ₃ (óxido de alumínio)	0,33%	0,62%
Na ₂ O (óxido de sódio)	-	0,28%
CuO (óxido de cobre)	-	0,08%
TiO ₃ (óxido de titânio)	-	0,05%
K ₂ O (óxido de potássio)	0,01%	0,04%
SrO (óxido de estrôncio)	0,05%	0,03%
MnO (óxido de mangânes)	0,02%	0,02%
P ₂ O ₅ (óxido de fósforo)	-	0,02%
Cl (cloro)	0,06%	0,01%

(*) Perda ao rubro determinada pela ATD das respectivas argamassas comerciais.

Segundo Souza Santos (1989), a perda ao rubro (PR) representa a perda de água livre intercalada, a perda de água de hidroxilas, matéria orgânica e carbonatos. Observa-se que houve perda ao rubro superior na argamassa italiana (29,5%) do que na chinesa (15,85%), indicando a possibilidade de mais constituintes orgânicos, oriundos dos retardadores usados na argamassa italiana. Diante destas análises pode-se afirmar que o desenvolvimento de uma argamassa expansiva deve partir de matérias-primas de elevado teor de CaO, portanto, é necessário que após calcinação de carbonatos haja produção de CaO reativo.

As Figuras 1 e 2 apresentam os difratogramas de raios-X das argamassas expansivas comerciais chinesa e italiana, respectivamente, onde se observa a presença dos principais picos característicos do óxido de cálcio – CaO, do hidróxido de cálcio - Ca(OH)₂, como também presença de outras fases, tais como, alumina (Al₂O₃), calcita (CaCO₃) e sílica (SiO₂).

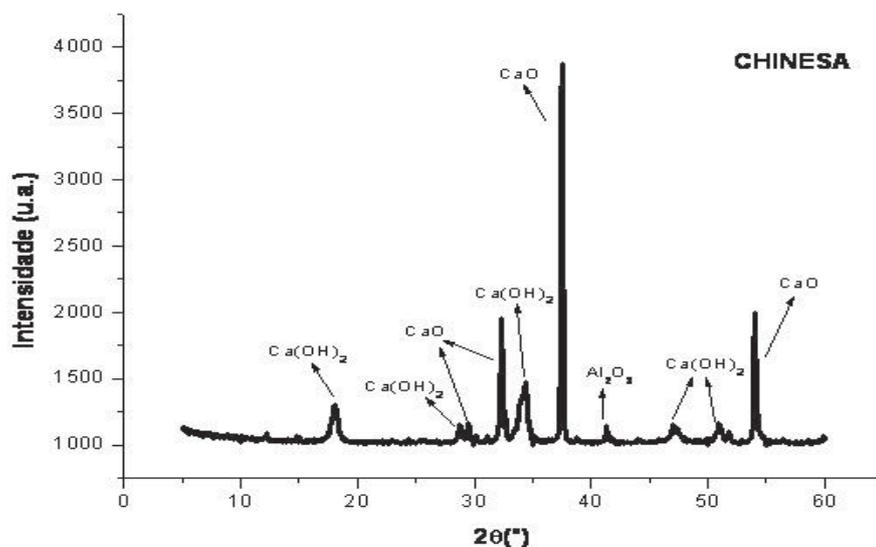


Figura 1 – Curva de difração de raios-X da argamassa expansiva chinesa.

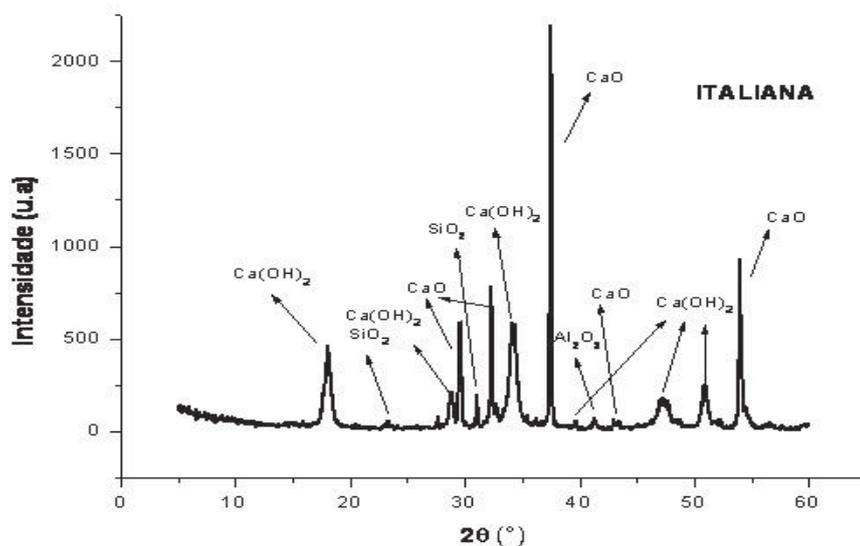


Figura 2 – Curva de difração de raios-X da argamassa expansiva italiana.

A Figura 3 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (ATD) da argamassa chinesa, onde se observa dois picos endotérmicos de grande intensidade; o primeiro em torno dos 545°C indica a presença de Ca(OH)_2 na argamassa. Outro pico próximo aos 800°C, indica a presença do CaCO_3 . Verificam-se também dois picos exotérmicos de baixa intensidade; o primeiro próximo a 95°C e o outro em torno de 705°C, provavelmente devido à presença de retardadores orgânicos utilizados nesta argamassa.

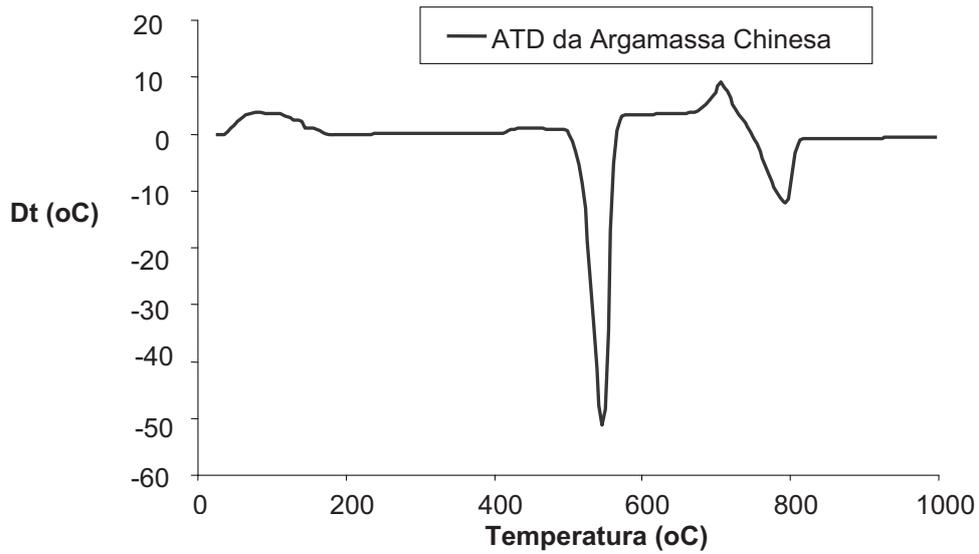


Figura 3 – Curva de análise térmica diferencial (ATD) da argamassa chinesa.

A Figura 4 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (ATD) da argamassa italiana, onde se observa dois picos endotérmicos de grande intensidade; o primeiro em torno dos 520°C indica a presença de Ca(OH)_2 na argamassa. Outro pico próximo aos 850°C, indica a presença do CaCO_3 .

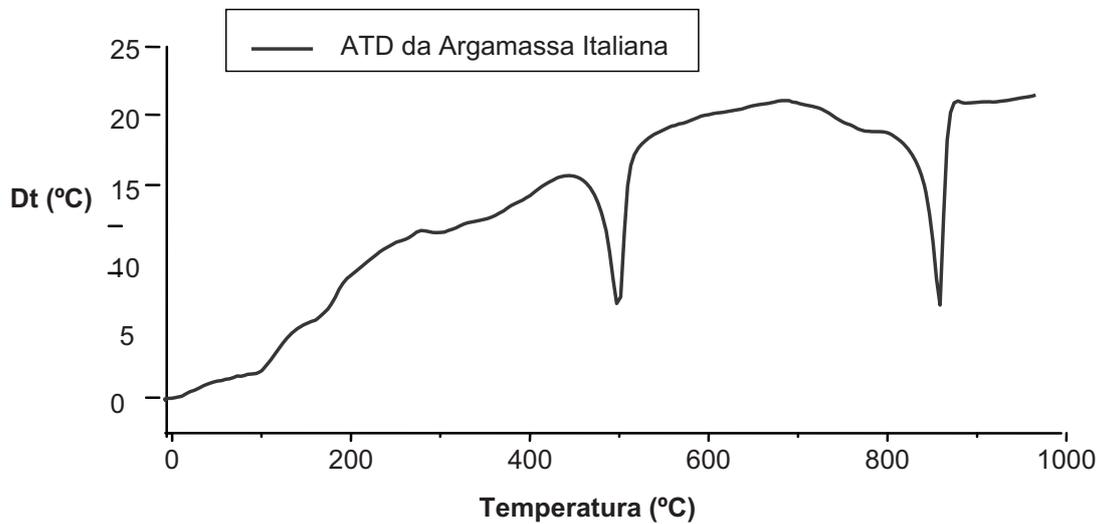


Figura 4 – Curva de análise térmica diferencial (ATD) da argamassa italiana.

A Figura 5 apresenta a ATG da argamassa chinesa, apresentando as perdas de massa características: entre 36°C e 300°C onde observa-se a perda de apenas 1,0% indicando água absorvida; de 300°C até aproximadamente 700°C há uma redução de 11,9%, indicando à perda de hidroxilas (OH⁻) devido a concentração elevada de CaO; finalmente de 700°C até 995°C há uma redução da ordem de 2,9%, indicando a perda de CO₂. A ATD e a ATG indicam que argamassa chinesa possui baixo teor de CaCO₃.

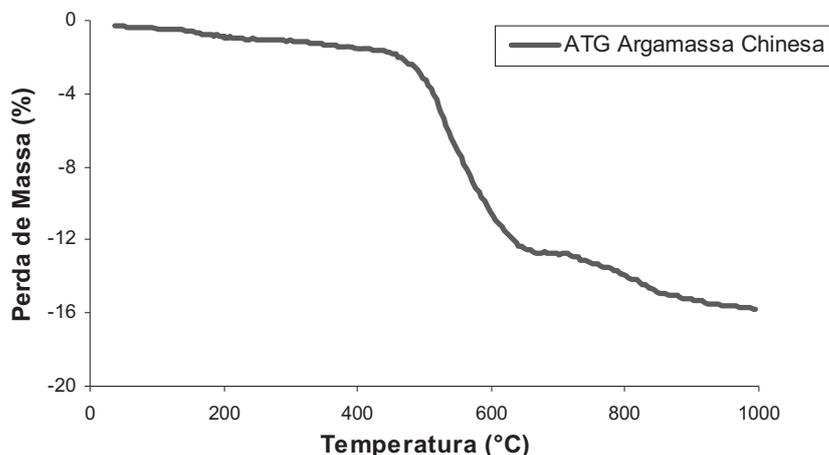


Figura 5 – Curva de análise termogravimétrica (ATG) da argamassa chinesa.

A Figura 6 apresenta a ATG da argamassa comercial italiana, onde observa-se as perdas de massa características: entre 23°C e 296°C há uma perda de aproximadamente 4,3% indicando água absorvida; de 296°C a 687°C ocorre uma perda de massa de 18,7% referente à perda de hidroxilas (OH⁻); por fim de 687°C a 969°C há uma diminuição da ordem de 6,5%, indicando a perda de CO₂. A análise térmica diferencial (ATD) e a termogravimétrica (ATG), confirmam os resultados obtidos pela difração de raios-X, indicando que as argamassas expansiva italiana e chinesa possuem teores consideráveis de CaO.

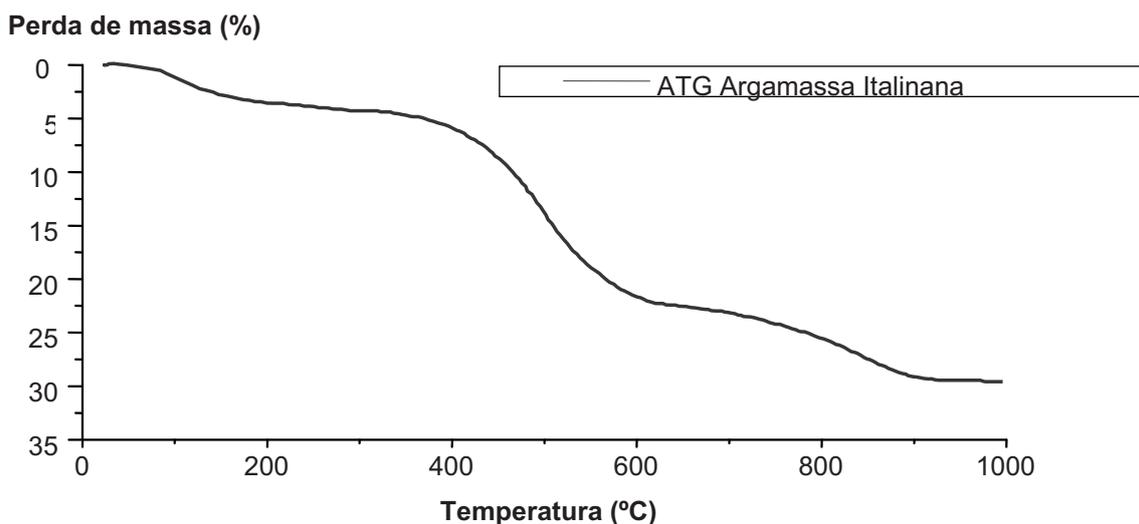


Figura 6 – curva de análise termogravimétrica (ATG) da argamassa italiana.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise granulométrica a laser feita nas argamassas expansivas comerciais chinesa e italiana. Observa-se na argamassa expansiva chinesa a seguinte distribuição: possui teor de 10% das partículas com diâmetro inferior a 1,22 μm , um teor de 50% das partículas com diâmetro inferior a 12,72 μm e 90% das partículas com diâmetro inferior a 39,18 μm , obtendo assim um diâmetro médio de 16,81 μm . Por outro lado, a argamassa italiana possui teor de 10% das partículas com diâmetro inferior a 2,98 μm , um teor de 50% das partículas com diâmetro inferior a 16,93 μm e 90% das partículas com diâmetro inferior a 53,88 μm , obtendo assim um diâmetro médio de 23,3 μm .

Tabela 2 – Diâmetros a 10%, 50%, 90% e médio de argamassa comercial.

Composição	D (μm) a 10%	D (μm) a 50%	D (μm) a 90%	\bar{D} (μm)
Comercial Chinesa	1,22	12,72	39,18	16,81
Comercial Italiana	2,98	16,93	53,88	23,30

Verifica-se que as partículas da argamassa italiana comparada com a chinesa apresenta a distribuição granulométrica superior para o diâmetro médio e no teor de 10%, 50% e 90%.

As Figuras 7 e 8 apresentam a imagem por microscopia eletrônica de varredura da argamassa expansiva chinesa antes de sofrer hidratação, com aumento de 10.000X e 20.000X e metalização por carbono, respectivamente. Observa-se grânulos com distribuição e tamanho não uniforme.

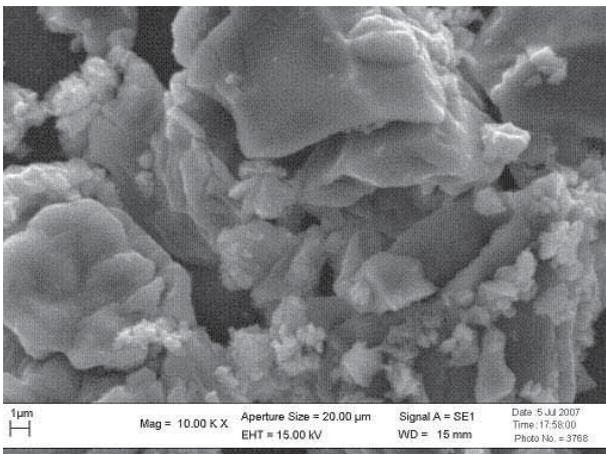


Figura 7: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa chinesa não hidratada (aumento de 10.000X e metalização por carbono).

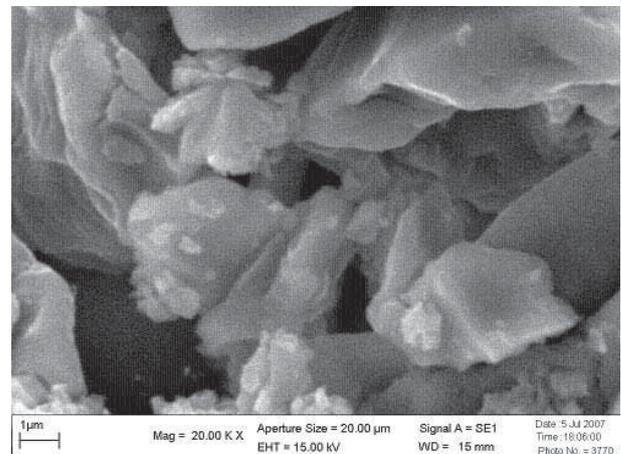


Figura 8: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa chinesa não hidratada (aumento de 20.000X e metalização por carbono).

As Figuras 9 e 10 apresentam a micrografia obtida para a argamassa expansiva chinesa após a reação de hidratação, com aumento de 10.000X e 20.000X, respectivamente. A vista geral da morfologia e distribuição dos tamanhos dos aglomerados mostra que após a hidratação houve formação de grânulos com esfoliações laminares.

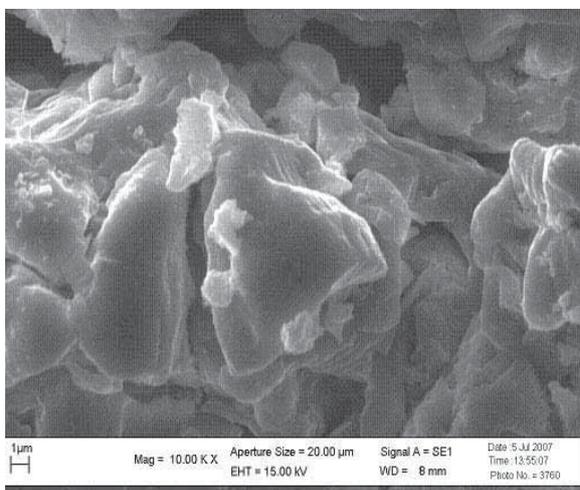


Figura 9: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa chinesa após hidratação (aumento de 10.000X e metalização por carbono).

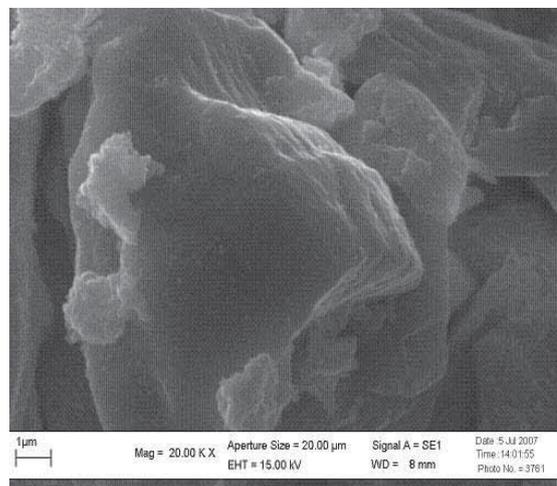


Figura 10: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa chinesa após hidratação (aumento de 20.000X e metalização por carbono).

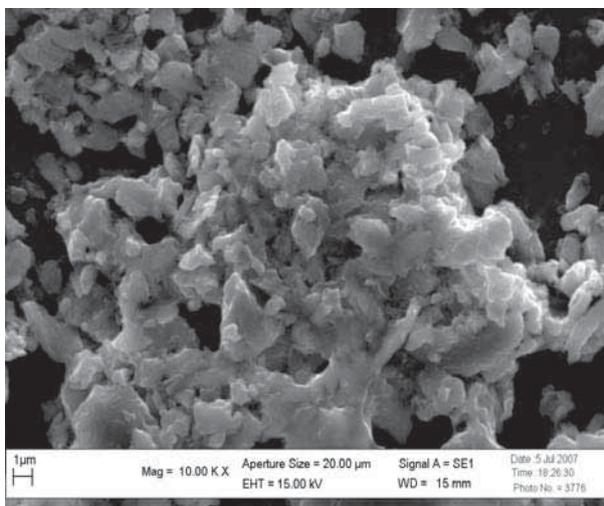


Figura 11: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa italiana não hidratada (aumento de 10.000X e metalização por carbono).

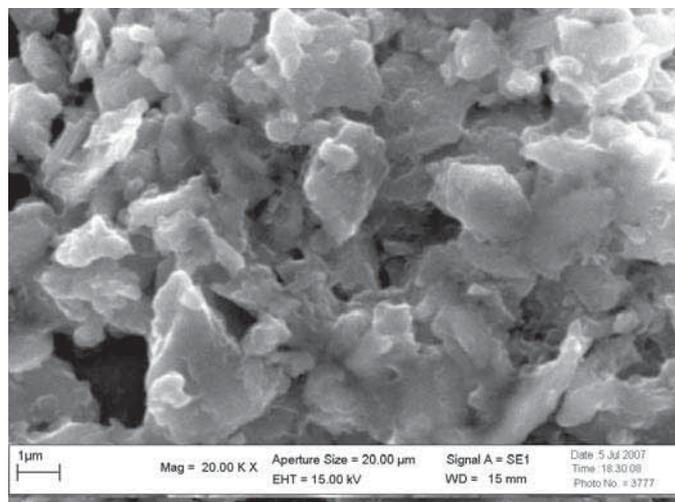


Figura 12: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa italiana não hidratada (aumento de 20.000X e metalização por carbono).

As Figuras de 11 e 12 apresentam imagem por microscopia eletrônica de varredura da argamassa expansiva italiana com aumento de 10.000X e 20.000X e metalização por carbono, antes de sofrerem hidratação. Estas micrografias mostram a morfologia e dispersão dos grânulos com superfície irregular.

Nas Figuras 13 e 14 verifica-se a micrografia da argamassa expansiva italiana com aumento de 10.000X e 20.000X, respectivamente, após a hidratação, mostrando a morfologia irregular com os grânulos espessos e apresentando esfoliações, provavelmente com aumento volumétricos devido a mudança da estrutura cristalina do CaO, que é um sistema isométrico, para o sistema trigonal do Ca(OH)₂. Este comportamento também se verificou na argamassa chinesa não-hidratada e após hidratação havendo aumento de volume dos grânulos (Figuras 7 a 10).

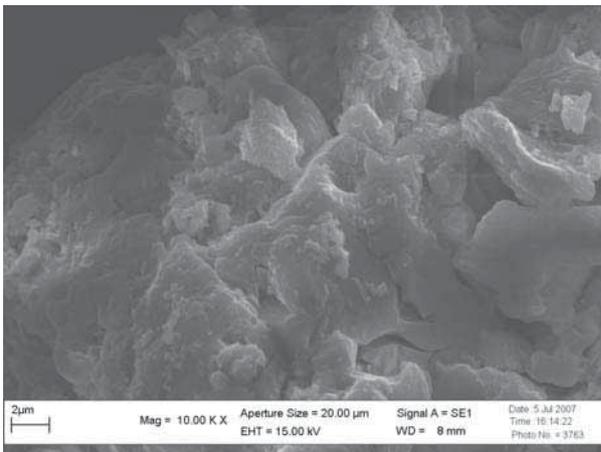


Figura 13: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa italiana após hidratação (aumento de 10.000X e metalização por carbono).

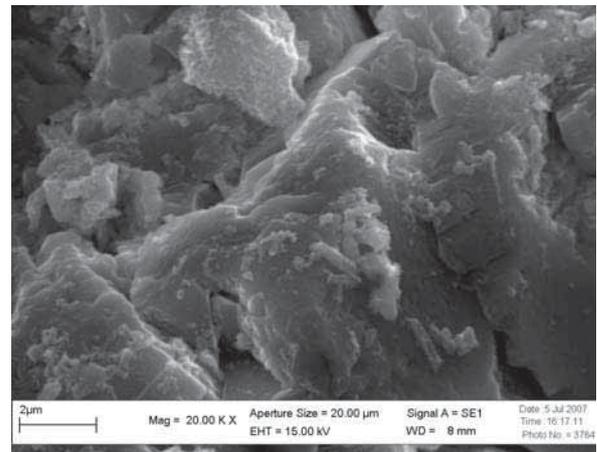


Figura 14: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa italiana após hidratação (aumento de 20.000X e metalização por carbono).

CONCLUSÕES

Das análises realizadas neste trabalho foi possível chegar a conclusão que as argamassas expansivas comerciais estudadas (chinesa e italiana) são formadas basicamente de óxido de cálcio (CaO), este é o responsável pela expansão via hidratação. Outros componentes também estão presentes na argamassa comercial: SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃.

REFERÊNCIA

- CAIMEX. Produtos Kayati SL-CRAS. www.caimex.com.br. Acesso em janeiro de 2005.
- ISHII, et al. Patente nº 4,807,530. www.patft.uspto.gov. Acesso em fevereiro de 2005.
- KAWANO, et al. Patente nº 4,316,583. www.patft.uspto.gov. 1982. Acesso em fevereiro de 2005.
- LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; SOUSA, A. A. P. e CUNHA, C.T.C., Estudo de Matéria-prima Cerâmica para Obtenção de Argamassa Expansiva para Lavra de Rochas Ornamentais. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. São Pedro/SP. 2005.

MIKI et al. Patente nº 3,510,326. www.patft.uspto.gov. 1970. Acesso em janeiro de 2005.

MOYER, Jr, et al. Patente nº 4,205,994. www.patft.uspto.gov. 1980. Acesso em fevereiro de 2005.

RICE E., et al. Patente nº 4,419,136. www.patft.uspto.gov. 1983. Acesso em fevereiro de 2005.

ROGERTEC. Cimento expansivo. www.rogertec.com.br. Acesso em janeiro de 2006.

SOUSA, A. A. P. Desenvolvimento de Argamassa Expansiva para Lavra de rochas Ornamentais Utilizando Minerais Não-metálicos da Região Nordeste do Brasil.. Tese de Doutorado Campina Grande/PB. 114p. 2007

SOUZA SANTOS, P. Ciências e Tecnologia de Argilas, Editora Edgard Blücher, vol. 2, São Paulo, 1992.

SUZUKAWA, et al. Patente nº 4,452,637. 1984. www.patft.uspto.gov. Acesso em fevereiro de 2005.

AGRADECIMENTOS

- FUJI S/A – Mármore e Granitos
- BNB - Banco do Nordeste do Brasil
- CNPq
- UEPB – Universidade Estadual da Paraíba
- UFCG – Universidade Federal da Paraíba

CAPÍTULO 19

ESTUDO DA ADERÊNCIA DE ALGUNS “GRANITOS” COM ARGAMASSA COLANTE

Lizandra Nogami¹; Antenor Braga Paraguassú, Rogério Pinto Ribeiro

RESUMO

Nos revestimentos de paredes a fixação de placas de rochas pode ser feita com *inserts* metálicos ou por aderência com argamassas. Nos assentamentos com argamassas os valores de aderência, por norma, devem ser superiores a 1 MPa e a altura máxima do revestimento não pode ultrapassar 3 m.

No presente trabalho foram feitos ensaios com ladrilhos de três tipos de “granitos” para comparar a aderência da argamassa existente no mercado, específica para estas rochas, com uma argamassa colante para porcelanatos, de mesmo custo de produção, desenvolvida por pesquisadores do Departamento de Arquitetura da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

As rochas escolhidas foram “Vermelho Brasília” (sienogranito), “Verde Labrador” (charnoquito) e “Preto Indiano” (migmatito) apresentam características petrográficas e serrabilidades diferentes, o que implica em valores distintos de rugosidade das chapas obtidas pelo desdobramento dos blocos em teares.

A aderência destas rochas com as com argamassas foi determinada, tanto na face rugosa como na face polida por meio do ensaio de arrancamento por tração, normatizado para cerâmica. Os resultados mostraram para estas rochas que a aderência das argamassas está relacionada à rugosidade e à mineralogia/textura. A aderência obtida para a argamassa colante desenvolvida para porcelanato foi aproximadamente 2 vezes superior a encontrada para argamassa comercial, mostrando sua excelente qualidade para o assentamento de placas de “granitos”.

INTRODUÇÃO

Nas construções as rochas ornamentais e de revestimento destacam-se pela durabilidade, resistência mecânica, efeitos estéticos e funcionais, inserindo-se em um importante setor da economia de diversos países. O Brasil, destacado pela sua espetacular “geodiversidade”, com mais de 1.000 tipos de rochas ornamentais, já se tornou um dos grandes produtores e exportadores mundiais.

¹ Mestra do Departamento de Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. E-mail: linogami@yahoo.com.br

Os sistemas de revestimentos de edificações ainda são baseados no empirismo, não existindo uma metodologia para as especificações tanto da rocha, quanto dos materiais utilizados na fixação.

Por esta razão o presente trabalho trata da fixação das placas de rocha utilizando argamassas colantes, que ultimamente vem apresentando grande crescimento. Tem o objetivo de comparar a aderência da argamassa que existe no mercado, específica para granitos, com uma argamassa não comercial desenvolvida no laboratório que tem custo de produção semelhante, levando em conta a influência da rugosidade das placas e as características petrográficas da rocha.

MATERIAIS

Rochas ornamentais

Os "granitos" brasileiros são bem aceitos no mercado mundial, devido a grande variedade cromática e textural. O fator estético é muitas vezes decisivo na sua escolha e é o resultado da harmonia entre as cores, tamanhos, formas e arranjo entre os minerais.

No presente trabalho foram escolhidos três tipos de "granitos", comercialmente conhecidos como Preto Indiano (Figura 1), Vermelho Brasília (Figura 2) e Verde Labrador (Figura 3), devido sua alta aceitação no mercado interno e externo.



Figura 1: Preto Indiano (migmatito)

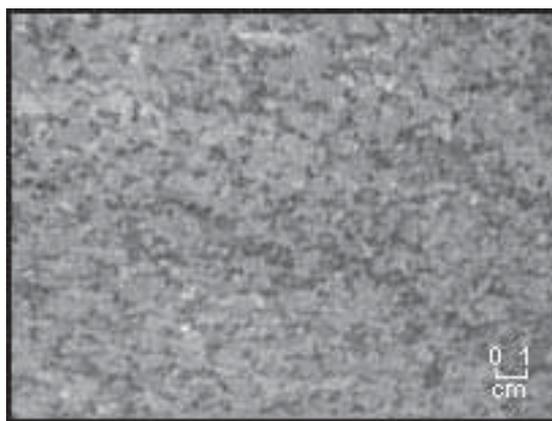


Figura 2: Vermelho Brasília (sienogranito)

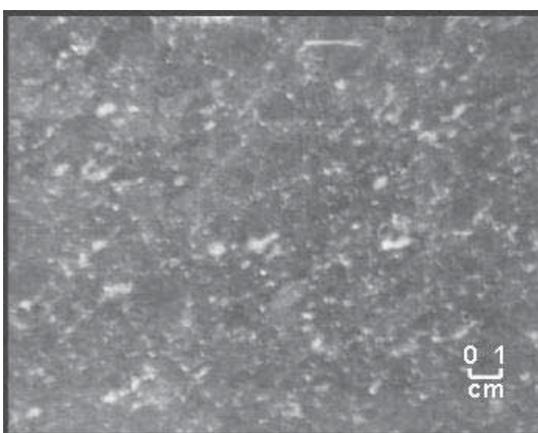


Figura 3: Verde Labrador (charnoquito)

No mercado existem argamassas colantes específicas para granitos, mármore e ardósias. Neste trabalho foi utilizada a argamassa específica para granitos, aqui chamada de *Argamassa Industrializada*, que foi comparada com uma argamassa, desenvolvida no Departamento de Arquitetura da USP – São Carlos (Almeida, 2005), para porcelanato, chamada de *Argamassa A4*. A razão da escolha se deve ao fato de que o porcelanato e o granito possuem uma característica em comum, a baixíssima porosidade ($< 3\%$), que restringe a aderência mecânica (por ancoragem), ou seja, a aderência pode ser química (ligações químicas) e física (força intermoleculares). Esta argamassa tem a seguinte composição: 5% de sílica, 20% de látex, relação at/c = 0,4 (at – água total, incluindo a água proveniente do látex polimérico; c – cimento), a proporção cimento:areia é 1:1,5 em massa e 1% de superplastificante em relação à massa do cimento.

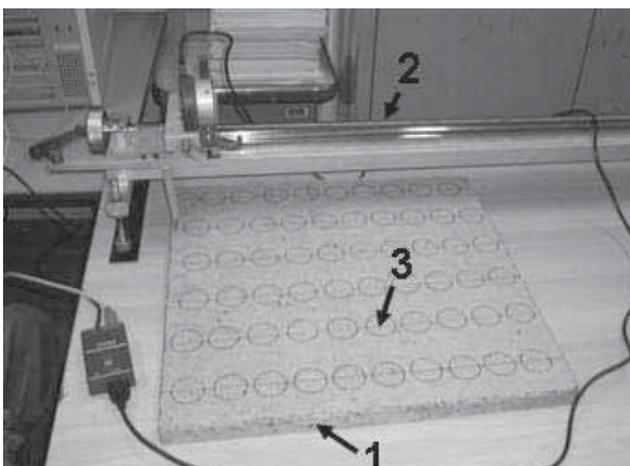
No nosso estudo comparativo foi incluída também a argamassa que ainda é a mais comumente utilizada nos canteiros de obras, possui uma consistência semi-seca sendo confeccionada de maneira artesanal, à base de cimento e areia (1:3) e com relação a/c = 0,8.

MÉTODOS

Determinação da rugosidade dos corpos de prova

A serragem de blocos realizada em teares é a mais tradicional e amplamente difundida. É a operação mais complexa da Indústria da Pedra e as chapas obtidas apresentam maior ou menor rugosidade em função das características da rocha, dos insumos utilizados e das condições operacionais. A rugosidade determina o volume de material a ser removido nas etapas de polimento e é importante também a sua determinação quando se trata de assentamento das placas com argamassa porque ela influencia na aderência.

Para relacionar os valores de aderência com a rugosidade das placas dos "granitos" estudados foi necessário medir a rugosidade com o perfilômetro portátil projetado e construído por RIBEIRO (2005). Em cada ladrilho de 40 x 40 cm foram delimitadas circunferências (corpos-de-prova), após a medida a rugosidade foram extraídos corpos de prova com diâmetro de 3 cm com coroas diamantadas (Figura 4).



Com o perfil de rugosidade dos corpos-de-prova, foi determinado o parâmetro de rugosidade (R_t), que corresponde à maior altura entre pico-vale ao longo do comprimento avaliado (Figura 5).

Figura 4: (1) Ladrilhos de "granito" de 40 x 40 cm, (2) Perfilômetro e (3) Delimitação os corpos de prova que serão extraídos ($\phi = 3$ cm).

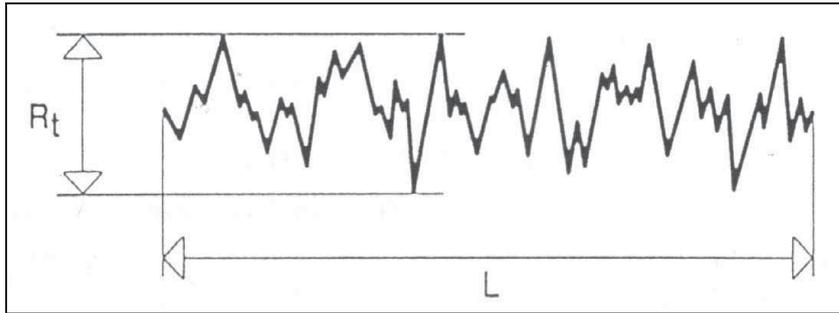


Figura 5: Definição de R_t (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998).

Determinação da Resistência de Aderência à Tração

Para a avaliação da Resistência de aderência das argamassas baseou-se na NBR 14084 (1998), que especifica um método de ensaio para determinação da resistência de aderência de argamassas colantes para cerâmica. As seguintes etapas foram desenvolvidas:

Os corpos-de-prova (bolachas), com diâmetro de 3,0 cm, foram ensaiados tanto com a superfície rugosa quanto com a superfície polida. Nesta última o brilho foi retirado em retífica com rebolo diamantado (Figura 6).

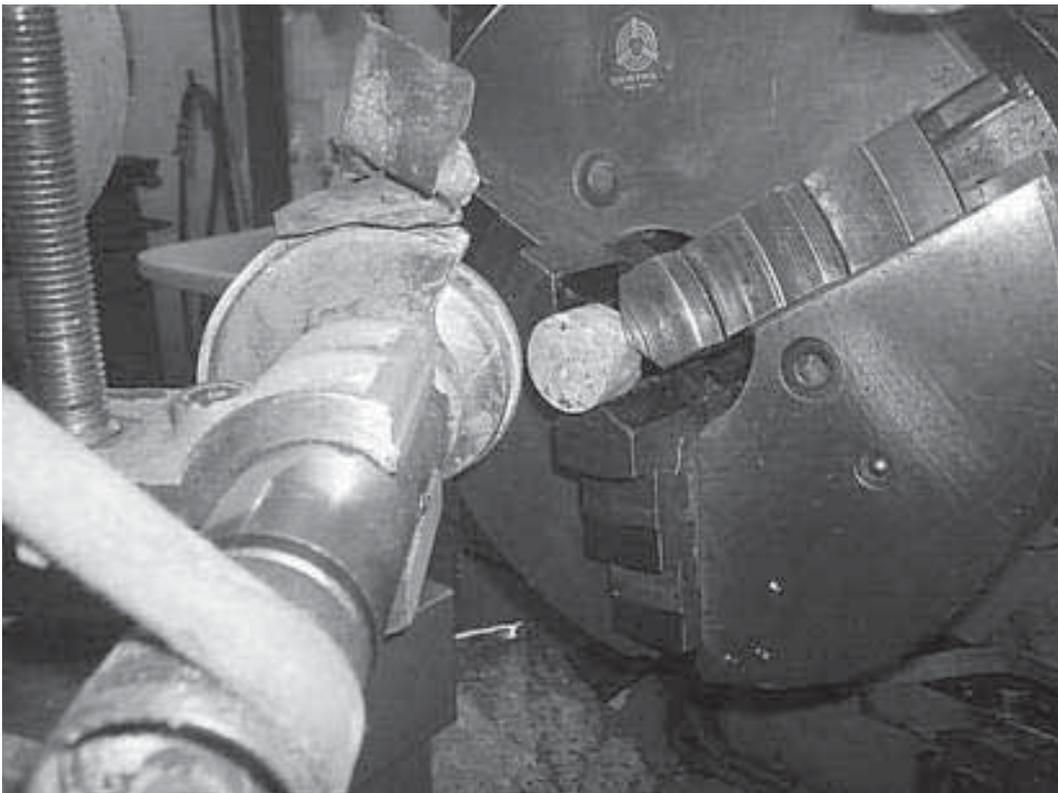


Figura 6: Retificação de um corpo-de-prova no torno mecânico com retifica

Com os corpos-de-prova assentados com as argamassas descritas foram mantidas em condições normais de cura especificadas na norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%) por 28 dias. O ensaio de arrancamento foi realizado com um equipamento do tipo manual (Figura 7).

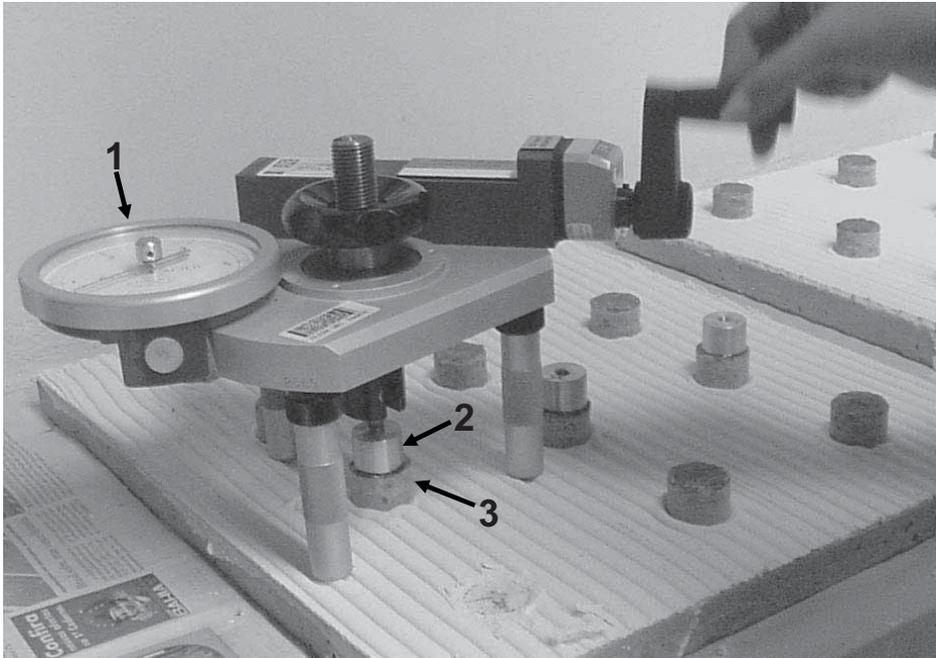


Figura 7: (1) é o manômetro, 2 é um cilindro metálico colado com araldite no corpo-de-prova (3) e conectado ao equipamento.

RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração na face rugosa e na polida/retificada assim como os valores de rugosidade (R_t) dos corpos-de-prova são a seguir apresentados e discutidos.

Resistência de aderência à tração na face rugosa

Os resultados dos ensaios de aderência com os corpos-de-prova fixados com a *Argamassa Comum*, a *Argamassa Industrializada* e a *Argamassa A4* são mostrados nos Gráficos 1, 2 e 3.

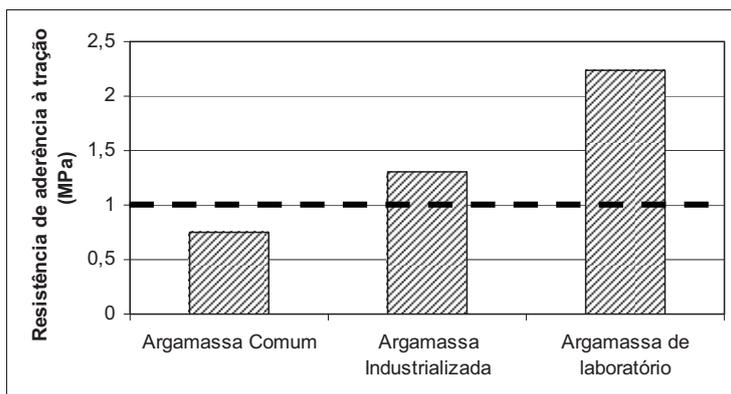


Gráfico 1: Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília.

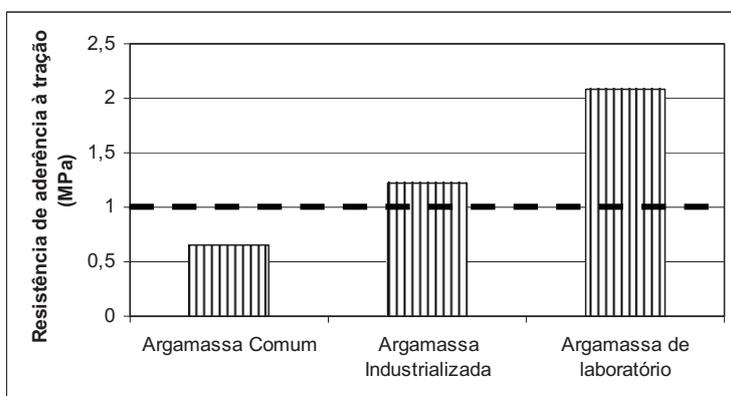


Gráfico 2: Resistência de aderência do charnoquito Verde Labrador.

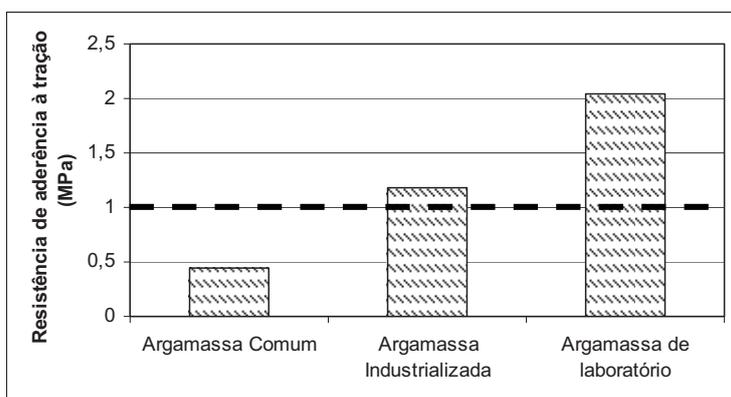


Gráfico 3: Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano.

A *Argamassa Comum* apresentou valores menores que 1 MPa, não sendo recomendado seu uso. As argamassas colantes *Industrializada* e a *desenvolvidas em laboratório* apresentaram valores maiores que 1 MPa. Esta última apresentou aproximadamente o dobro da aderência da argamassa industrializada.

Observa-se nos Gráficos 4, 5 e 6 que quanto mais rugoso for o corpo-de-prova maior a resistência de aderência evidenciando neste caso que a aderência ocorreu por interação física promovida pela superfície rugosa do ladrilho que esta em contato com a argamassa.

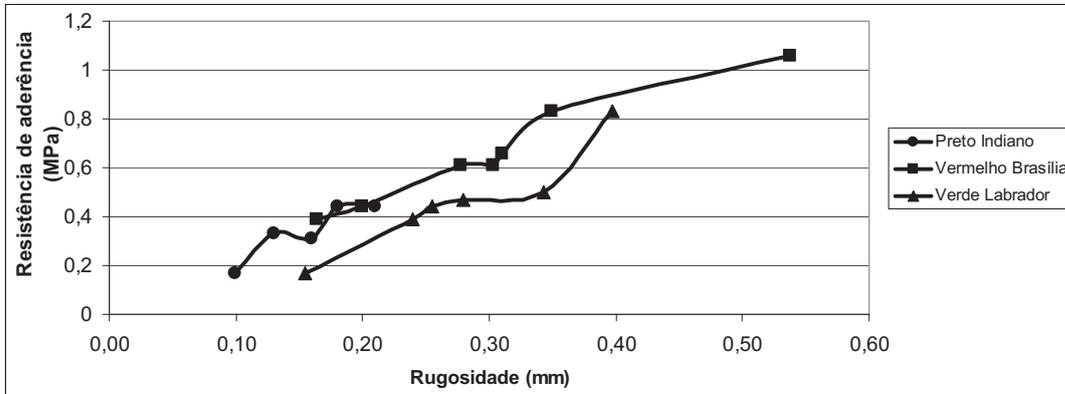


Gráfico 4: Resistência de aderência X Rugosidade com a *Argamassa Comum*

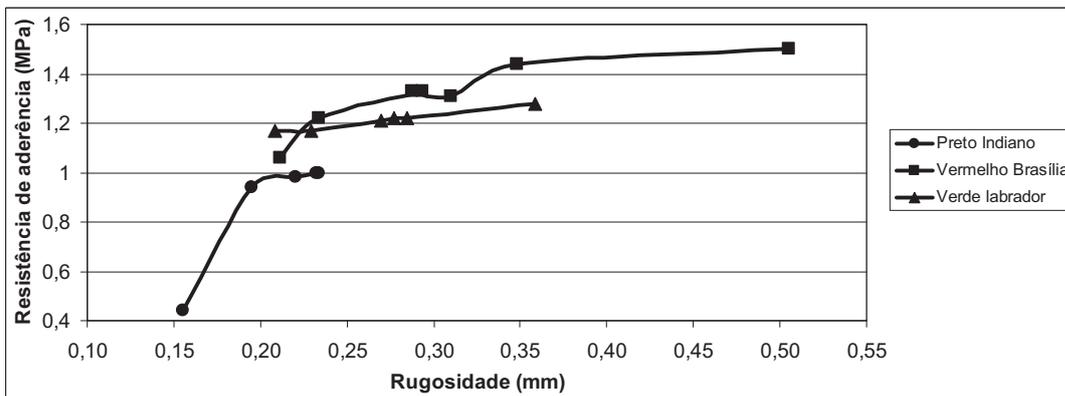


Gráfico 5: Resistência de aderência X Rugosidade com a *Argamassa Industrializada*

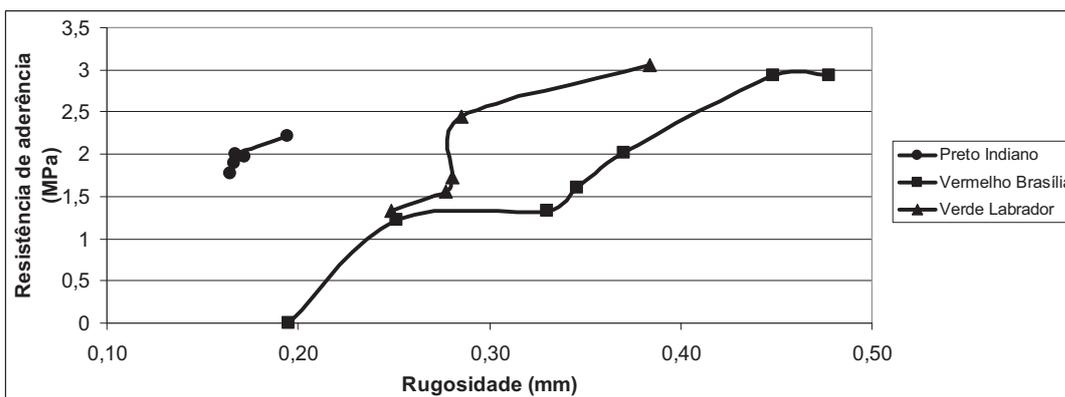


Gráfico 6: Resistência de aderência X Rugosidade com a *Argamassa A4*

Resistência de aderência à tração na face polida/retificada

Os ensaios de aderência realizados com a *Argamassa Industrializada* e a *Argamassa A4* na superfície polida/retificada das rochas foram realizados para observar a influência da mineralogia/textura. Os valores de resistência de aderência são apresentados nos Gráficos 7 e 8.

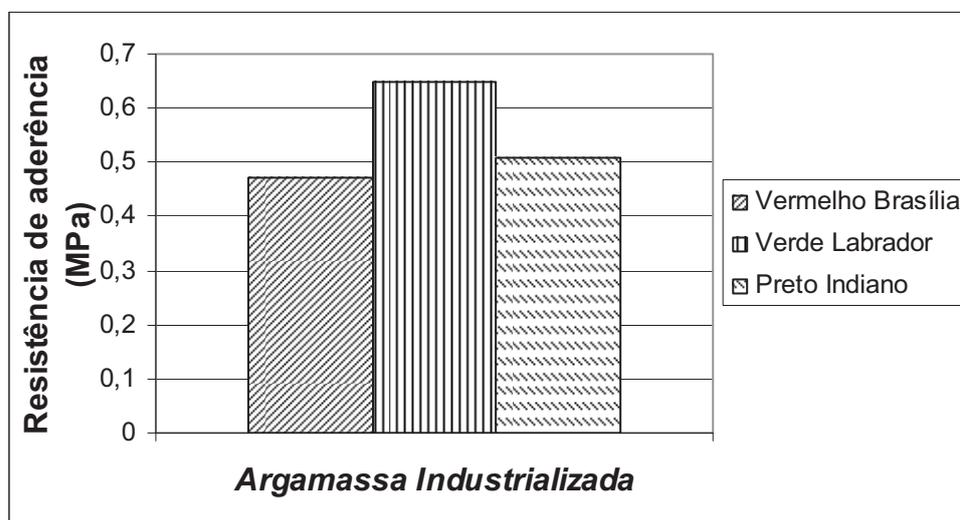


Gráfico 7: Resistência de aderência da *Argamassa industrializada* com os "granitos" ensaiados.

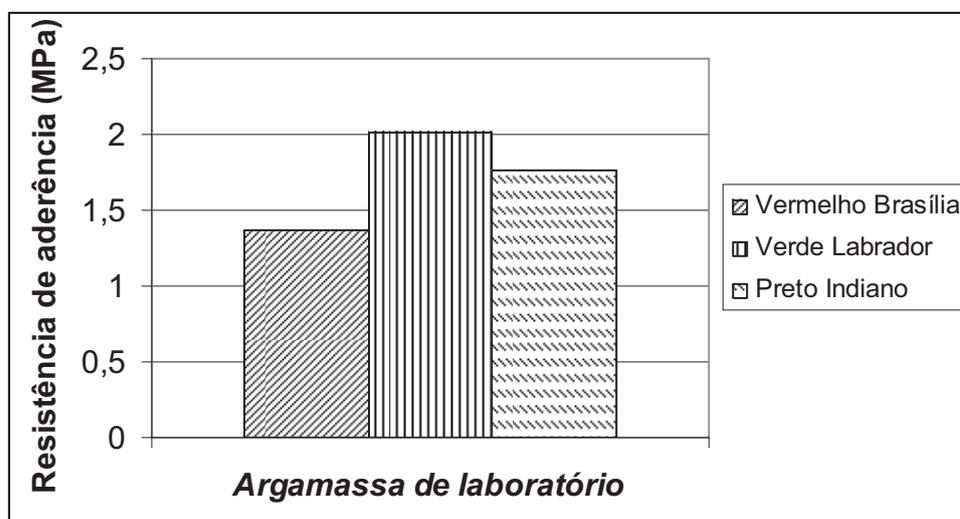


Gráfico 8: Resistência de aderência da *Argamassa de laboratório* com os "granitos" ensaiados.

Observa-se que a maior aderência foi a verificada para o "charnoquito" Verde Labrador, seguidos pelo "migmatito" Preto Indiano e o "sienogranito" Vermelho Brasília.

Os valores de aderência devem ter sido influenciados pelas diferenças mineralógicas das rochas uma vez que o Verde Labrador que foi o mais aderente possui a menor porcentagem de quartzo (14%) das rochas ensaiadas.

Pesquisas devem ser realizadas para estabelecer as relações com os vários tipos de "granitos" existentes no universo das rochas ornamentais.

CONCLUSÕES

A *Argamassa Comum* não é recomendada na fixação de ladrilhos de "granito" porque pode ocorrer patologias devido aos baixos os valores de resistência de aderência e flexibilidade desta argamassa;

A *Argamassa desenvolvida em laboratório* apresentou valores de resistência de ao arrancamento à tração aproximadamente o dobro da aderência obtida para *Argamassa Industrializada*;

Nos ensaios com a superfície rugosa em contato com a argamassa, mostrou que quanto maior a rugosidade, maior a aderência.

Nos ensaios de aderência das argamassas com as superfícies polida/retificada notou-se que houve influência da mineralogia, sendo que as rochas de menor aderência foram aquelas com maior quantidade de quartzo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. E. S. 2005. Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímeros estireno acrílico nas propriedades de argamassa para o assentamento de porcelanato.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14082 – 2004. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14084 – 2004. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação da resistência de aderência.
- BRANDÃO, W., SARDDOU FILHO, R., QUEIROZ, E.T. 1991. Mármore, Granitos e Outras Rochas Ornamentais no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C., QUEIROZ, E.T., COELHO, C.E.S. (edit.). Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília. D.N.P.M. v. IV. Parte A. p.371-372.
- RIBEIRO, R. P. 2005. Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos, Tese de Doutorado do programa de Pós graduação em Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.
- SPÍNOLA, S.V.P.A.C. 1998. Influência da Qualidade da Serragem de Granitos no Consumo Energético do Desbaste. Dissertação de mestrado. Lisboa. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 138p.

CAPÍTULO 20

DIAGNÓSTICO DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Valdemir Cavalcanti Souza¹, Júlio César de Souza, José Lins Rolim Filho

RESUMO

Neste trabalho são apresentadas as considerações geológicas sobre os jazimentos de granitos para fins ornamentais, um perfil do setor brasileiro de rochas ornamentais e um diagnóstico da cadeia produtiva do Estado de Pernambuco, envolvendo a mineração (principais jazidas, métodos de lavra, tecnologia de corte para o desmonte de blocos), serrarias e marmorarias.

O setor de rochas ornamentais de Pernambuco vem apresentando franca regressão. De pioneiro na abertura de jazidas em relação aos estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia, o estado conta atualmente com 6 frentes de lavra em operação contínua: duas em Bom Jardim (Marrom Imperial), Arcoverde ("Sunset Red"), Sertânia ("Red Brown"), Pedra (Amarelo Ipanema), Alagoinha (Multicolor/Salmão Lagoa), e outras que operam de forma descontínua, tais como o Vermelho Ipanema/Olinda, Relíquia, Rosa Imperial, Vermelho Ventura, etc.

Além do contexto geológico favorável a extração de rochas ornamentais, Pernambuco apresenta uma série de vantagens em comparação com outras regiões do país, dentre elas: cobertura de solo rasa ou inexistente, o que reduz os custos de exploração; inexistência de problemas ecológicos sérios, haja vista as jazidas situarem-se em áreas pouco povoadas, devido à inclemência do clima semi-árido; abundância de mão de obra e facilmente adaptável aos serviços de exploração. Somados a isto, os jazimentos situam-se em locais de fácil acesso, cortado por estradas transitáveis durante todo ano; maior proximidade dos mercados europeus, asiático e norte americano, o que baratearia o frete em relação ao sul do país.

Aproximadamente 70% do seu território é formado por rochas do embasamento cristalino Pré-cambriano, que associado às características lito-estruturais do seu arcabouço geológico, reserva indiscutivelmente uma extraordinária potencialidade em granitos ornamentais, considerados excelentes do ponto de vista estético-decorativo.

As principais jazidas, encontram-se na região do Agreste e Zona da Mata, existindo lavra em vários locais, tanto para rochas ornamentais como para pedras de cantaria e brita, dentre as quais se destaca a reserva do granito Marrom Imperial localizado no município de Bom Jardim, com ampla aceitação nos mercados nacional e internacional. Ressalta-se que a maioria das jazidas estão localizadas próximas das principais estradas asfaltadas, o que permite um acesso

¹ Mestrando, DNPM-PE. E-mail: Valdemircavalcanti@yahoo.com.br

fácil aos centros consumidores, principalmente a cidade do Recife, que dista num raio de 400 km das jazidas.

CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS SOBRE OS JAZIMENTOS DE GRANITOS PARA FINS ORNAMENTAIS

Geologicamente, o Estado de Pernambuco está inserido na Província Borborema, cuja evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica, com alternância de regimes compressivos e distensivos. Na região ocorreram 3 eventos tectônicos distintos, relacionados ao Arqueano-Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico (Medeiros, 1998) nos quais se registram abundantes jazidas de rochas não orientadas (granitóide) e movimentadas (ortognaisses e migmatitos). Essas rochas são dominantes em toda a região Agreste e Zona da Mata do estado.

O Paleoproterozóico acha-se representado pelos complexos Floresta e Pão de Açúcar, constituídos por ortognaisses quartzo-dioritos, tonalitos, granodioritos, granulitos, migmatitos, rochas metabásicas e ultrabásicas.

O Mesoproterozóico engloba uma seqüência de faixas metassedimentares, correspondendo aos complexos São Caetano, Lagoa das Condendas, Sertânia, Vertentes, Cabrobó, e Complexo Belém do São Francisco, o qual se notabiliza por encerrar vários jazimentos de rochas ornamentais em exploração. Nesta seqüência existem ocorrências de ortognaisses e migmatitos de natureza indiscriminada, apresentando fácies cinza-claro de composição tonalítica, em alternância com porções de neossoma róseo-avermelhado, ricas em feldspato potássico. Associados a esta unidades têm-se os jazimentos de granito comercialmente denominados de Frevo/Carnaval (Sertânia). Já os granitos Samba, Rosa Imperial e Relíquia representam expressões de migmatitos e ortognaisses migmatizados do Complexo Belém do São Francisco. Estes são ligados a migmatitos homogêneos, com neossoma de cor rosa-suave a avermelhada, ricos em feldspato potássico, associados a zonas de cisalhamento dúctil e a corpos máficos pré-existentes, de composição anfibolítica.

O Neoproterozóico foi afetado por intensos e extensos processos de intrusão de magmas graníticos, que resultaram na colocação de inúmeros corpos de composição variada, compondo um quadro geológico favorável para ocorrência de jazidas de rochas ornamentais, tanto dos tipos comuns, quanto dos materiais mais nobre, passíveis de negociação no mercado internacional de blocos. A unidade mais prospectiva do Neoproterozóico é representada pelo quartzo sienito (Suíte Shoshonítica), com enclaves máficos que abrigam "cumulatus" de melasienito porfirítico grosseiro de cor marrom escura, conhecido no mercado como granito Marrom Imperial.

PERFIL DO SETOR BRASILEIRO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais, tendo expressiva posição em escala mundial. A partir de uma 12ª colocação no "ranking" de exportadores no ano de 1999, alcançou a 5ª posição em 2004, ocupando a segunda posição de maior exportador de blocos de rochas em bruto (9% do total mundial), e também de rochas semi-manufaturadas (ardósias 15,2% do total global), tendo ultrapassado a China e a Índia, nossos principais concorrentes no exterior.

Os valores e volumes das exportações brasileiras em 2004 aumentaram de 40% em relação ao exercício de 2003, propiciando a geração de empregos diretos da ordem mínima de 8.500 postos de trabalho. Em 2005 as exportações cresceram em relação a 2004 em 31,5% em valor e 17,2% em volume. Ainda no ano de 2004, o Brasil tornou-se o 5º maior exportador de rochas processadas especiais, com 5% do mercado mundial.

Os principais destinos das exportações brasileiras estão centrados em 4 países, os quais pela ordem e percentuais de compras são os seguintes: Estados Unidos da América com aproximadamente 60%, Itália com 9%, China com 6% e Espanha com 5%. Entretanto, os produtos exportados diferem de um grande importador para outro. Os Estados Unidos compram essencialmente produtos acabados, principalmente chapas polidas. A China e a Itália importam primordialmente rochas em bruto (blocos), enquanto que as exportações para o mercado espanhol existe um certo equilíbrio entre material bruto e produtos beneficiados.

A produção brasileira distribui-se por 19 estados da federação, tendo o Espírito Santo na liderança, com 46% do total produzido e responsável por 56% da extração de granitos e 75% dos mármore. Os outros principais estados produtores são Minas Gerais, que destaca pela diversidade, Bahia, Paraná e Rio de Janeiro, que produzem mármore e granitos, entre outros materiais, e Ceará, com granito e pedra Cariri. O Estado de Pernambuco participa com 0,93% do total.

PERFIL DO SETOR DE PERNAMBUCO

Mineração

Existem dois tipos de jazidas de rochas ornamentais em Pernambuco : em matacões e maciços rochosos. A lavra de matacões aplica-se tecnologia de extração mais simples e mais barata do que a lavra em maciços, mas causa grandes danos ambientais. Os matacões selecionados devem ter um volume mínimo desejável, não apresentando grandes quantidades de veios, fraturas, xenólitos ou ferrugem, sob pena dos blocos aparelhados resultantes apresentarem defeitos. A tecnologia da lavra nos matacões é feita com uso de explosivos para fogo raiado, levante e cunhas para partição dos blocos, esquadrejamento e desbastes de arestas.

A lavra de maciços rochosos tem maior custo de produção, mas causa menores danos ao meio ambiente. O processo de lavra é feito em bancadas, utilizando-se de tecnologia mais sofisticadas para isolar grandes volumes rochosos com o uso de fio diamantado, equipamento de alta produtividade, visando obter a melhor eficiência possível para minimizar os custos. Outros equipamentos usados na lavra são quarry-bar, que são marteletes acoplados em colunas pneumáticas, que facilitam a operação de furação contínua e "jet-flame" utilizados em algumas ocasiões.

Granito marrom imperial

Ocorrem nas localidades de Pedra do Navio e Faz. das Pedras, município de Bom Jardim a 110 km do Recife. Dispõe sob a forma de lentes e mela-sienitos, pertencentes à Seqüência Shoshonítica Peralcalina de idade neoproterozóica. As encaixantes deste litotipo (quartzosienito) também se prestam ao setor de rochas ornamentais, constituindo um material comum, comercializado no mercado interno de chapas padronizadas com o nome de Lilás Imperial.

Existem duas frentes de lavra em atividade, cujos titulares são Minérios de Bom Jardim S/A e Granitos Brasileiros S/A (arrendado a Corcovado Granitos Ltda). O método de lavra é em forma de bancadas, utilizando-se de fio diamantado, furação contínua, explosivos de baixa carga, quarry-bar e "jet-flame" ocasionalmente. O Marrom Imperial possui reconhecida aceitação no mercado internacional com preço de U\$ 700,00/m³,

Granito "red brown"

Corresponde a um granitóide gnaissificado na Serra da Maniçoba na porção sul do município de Sertânia a 272 km do Recife. Possui formato alongado na direção NE-SW da zona cisalhante de Cruzeiro do Nordeste. A intrusão deste corpo granítico foi concomitante ao processo de cisalhamento, evidenciado pela enorme deformação do material, com estiramento dos minerais presentes. O bandamento é levemente ondulado, dando aspecto de movimentação das bandas, algo bastante apreciado pelo mercado de rochas ornamentais.

Uma frente de lavra experimental está sendo realizada pela Max Mineração Ltda, cujo método de lavra é feito em bancadas altas com uso de fio diamantado, gerador e fundo-furo. Não há utilização de perfuratrizes (martelo). O processo é bastante oneroso e com grandes perdas do material. Por ser bastante exótico, tem um preço de comercialização alto para compensar o processo extrativo. Há boa aceitação no mercado, cujo preço interno é de U\$ 800,00/m³ e externo U\$ 1.200,00/m³.

Granito "sunset red"

Ocorre na localidade de Santa Rita, município de Arcoverde à 263 km do Recife. Constituem associações representadas por granitos porfiríticos ou pegmatóides, englobados no Complexo Belém do São Francisco do mesoproterozóico. Os tipos de contato dessa unidade com os migmatitos encaixantes são gradativos e difusos, ocorrendo por vezes, contatos bruscos por falhamentos. Esta unidade constitui imensas concentrações sob a forma de grandes maciços rochosos.

A Geolog do Brasil Ltda, desenvolve lavra experimental através de bancadas nas encostas dos morros, utilizando-se de fio diamantado para desmonte de pranchas (pastilhas) e emprego de cimento expansivo. O preço no mercado interno é de U\$140,00/m³ e no mercado externo U\$360,00/m³.

Granitos vermelho ventura, amarelo / vermelho Ipanema.

Estes tipos de rochas localizam-se nos municípios de Venturosa e Pedra. Estão associados a biotita-anfibólio granitóide grosseiro, com textura porfirítica de cor avermelhada (Vermelho Ventura), e fácies equigranular média de coloração amarelo e avermelhada (Vermelho Ipanema). Tais litotipos estão inseridos na suíte potássica-calcialcalina e relacionados à fase tardi-tectônica do evento plutônico neoproterozóico, sendo inclusos nos gnaisses e migmatitos de idade mesoproterozóico.

A lavra é realizada em matacões nas encostas dos morros, os quais são puxados por gravidades por meio de guinchos até a praça principal, onde se encontra o pau de carga. O desmonte é feito através de um furo central raiado segundo o "rift" da rocha e aplicando-se detonação com pólvora negra e cordel. Em seguida, no desdobramento, os blocos são cortados com auxílio de martelos manuais, cunhas e pixotes. A Polirochas Ind. Com. de Mármore e Granitos Ltda desenvolve lavra experimental no Granito Amarelo Ipanema na localidade da Serra do Caboclo (Pedra). As empresas Norgram - Nordeste Granitos Ltda e AD-Diper, detém o direito mineral dos granitos Vermelho Ipanema e Vermelho Ventura, respectivamente, encontrando-se as áreas com a lavra paralisada.

Granitos relíquia, multicolor e salmão lagoa

As jazidas estão localizadas no Sítio Barriguda, município de Alagoinha a 223 km do Recife. Estes litotipos representam expressões de migmatitos do Complexo Belém do São Francisco, de idade mesoproterozóica. Os migmatitos afloram extensivamente sob a forma de maciços rochosos bastante movimentados, cores rosadas a avermelhadas e padrão estrutural de boa aceitação no mercado internacional de blocos.

A Mineração Coto Com. Imp. Exp. Ltda, desenvolve lavra em forma de bancadas com 5 a 7 m de altura, utilizando-se de "jet-flame" e fio diamantado. A furação é feita com auxílio de perfuratriz tipo quarry-bar e explosivo. O preço no mercado interno é de R\$1.280,00/m³ e no externo de R\$ 1.024,00/m³.

Granito rosa imperial

Ocorre na Fazenda Aline no município de Garanhuns. Representa um migmatito movimentado, pertencente ao Complexo Belém do São Francisco, de idade mesoproterozóica. Está ligado aos migmatitos homogêneos, com neossoma de cor rosa-suave a avermelhada, ricos em feldspato potássico, associado a zona de cisalhamento dúctil e a corpos máficos pré-existent, de composição anfibolítica. Na localidade ocorrem 2 fácies de migmatitos : o tipo mais dominante com coloração cinza-clara e o outro menos abundante com coloração róseo-avermelhada, sendo esse último, a unidade de maior interesse por parte dos consumidores. É uma rocha com padrão movimentado já consagrado no mercado internacional.

A empresa Ferreira Costa Mineração Ltda paralisou suas atividades de lavra, devido os altos custos operacionais. A jazida apresentou manchas irregulares de dimensões métricas a decimétricas, os quais constituem o paleosoma com estruturas estromáticas e/ou flebíticas em quase todo o jazimento

Granitos frevo e carnaval

Estes litotipos estão inseridos no Complexo Sertânia do mesoproterozóico, de composição gnáissica frequentemente migmatizados, sendo o neossoma rosa-avermelhado rico em feldspato potássico.

A empresa M.C Lopes & A.Ribeiro Ltda, detentora da área no Sítio Jaú, município de Sertânia, pretende iniciar a lavra em bancadas altas, com uso de fio diamantado em maciços rochosos. Estes litotipos pertencem à categoria das rochas movimentadas e trata-se de materiais nobres de reconhecida aceitação no mercado internacional, notadamente junto a compradores europeus, norte-americanos e chineses. Existe boa receptividade no mercado externo de blocos brutos, sendo negociados na faixa de US\$ 500,00/m³.

Quartzito de cruz de malta

O quartzito de Cruz de Malta está inserido no Complexo Casa Nova (Unidade Barra Bonita) do neoproterozóico. Apresenta-se sob a forma de uma lente alongada com mergulho de 35° SW. A coloração é predominantemente cinza prateada e os pequenos cristais de hornblenda orientados, dão um aspecto estético decorativo bastante agradável. Esses cristais são indícios de que o quartzito é de alto grau de metamorfismo (fácies anfíbolítica).

A Orex Mineração Ltda é detentora das áreas nas localidades Poço do Curral e Poço de Dantas, municípios de Parnamirim, Ouricuri e Santa Cruz. Os testes de beneficiamento com discos diamantados e prensa hidráulica realizados pela Orex produziram ladrilhos para revestimento de pisos e paredes e os subprodutos geram quantidades consideráveis de rejeitos, que são aproveitados na construção civil, como ponta de serragem para aplicação em pisos, paredes, muros, etc. Na cava principal existem grandes quantidades de rejeitos, os quais prejudicam a retirada das placas, se bem que na extração da rocha com faces livres favorece a produção de grandes placas, podendo uma só pessoa produzir semanalmente até 20 m².

Serrarias

O panorama da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais no estado é desolador. Das 8 indústrias instaladas há 10 anos atrás, apenas 3 estão em operação: uma em Bezerros, uma em Bom Jardim e outra no Cabo de Santo Agostinho (Suape).

Existem empresas que só extraem blocos, outras que apenas serram e outras que só fazem trabalhos característicos de marmorarias. Neste aspecto, torna-se claro que a maior empresa verticalizada existente, usufrui de elevada lucratividade, pois possui uma administração integrada, maximizando lucros e minimizando perdas nas etapas da cadeia produtiva.

A unidade de beneficiamento pioneira no Estado pertence a Minérios Bom Jardim S/A, estando equipada com teares, MGM, Mod. G4 de procedência brasileira e politrizes MGM de 17 cabeças, máquina calibradora, máquina de serrar, ponte rolante, etc. Trata-se de uma unidade de médio porte, mas que supre as necessidades do Grupo Bom Jardim, com capacidade de serragem de 8 a 10.000 m²/mês de chapas padronizadas.

A Granex - Granitos de Exportação do Nordeste S/A, arrendou a THOR- Nordeste Granitos Ltda, a sua unidade industrial localizada no Porto de Suape / PE, com capacidade de serragem de 24 a 26.000 m²/mês de chapas, com padrão internacional, dispondo ainda de quatro teares

Jumbo, Gaspari Menotti (italiana), politrizes de 20 cabeças, duas máquinas Figueiredo (portuguesa) para cortar blocos padronizados, máquinas para resinar e telar chapas. A empresa exporta de 20 a 22.000 m²/mês de chapas para os USA e Japão.

A Pergran - Pernambuco Granitos Ind.Com. Exp., tem uma unidade de beneficiamento em Bezerros com capacidade nominal de produção de 3.000 m²/mês de chapas bruta e polida. Opera com 2 teares Beka/Cimef (Espírito Santo), um pórtico com capacidade de 40 t, carro auto transportador, 2 politrizes Beka 2000/Cimef, cortadeira (transversal e longitudinal), e uma ponte rolante com capacidade de 4 t. Todos possuem unidade de reciclagem de água.

Em 1996 foi criado o Programa de Apoio ao Desenvolvimento das Indústrias de Rochas Ornamentais do Estado de Pernambuco - PROPEDRAS, em prol do desenvolvimento e consolidação de um pólo graniteiro, no curto e médio prazo no semi-árido e direcionado às empresas de pequeno porte, através de repasse do sistema FNE/BNB e operado pelo antigo BANDEPE - Banco do Estado de Pernambuco, porém parte dos recursos não foi aplicado na forma ideal para o setor, o que gerou dificuldades financeiras a até mesmo o fechamento das serrarias instaladas nos municípios de Bezerros e Belo Jardim.

Marmorarias

O setor marmorista é de fundamental importância para a cadeia produtiva de rochas ornamentais ou de revestimento, pois é o setor que cria e transforma chapas brutas ou polidas de granitos, em produtos com maior valor agregado, prontos para a comercialização, tais como: mesas em geral, bancadas, balcões, suportes, pias, divisórias, estatuetas, soleiras, peitoris e artigos para arte funerária. Desta forma, as marmorarias direcionam a maior parte da sua produção para o setor da construção civil, através das construtoras e das residências particulares em parcerias com arquitetos, engenheiros e decoradores, embelezando todos os tipos de obras.

Em Pernambuco existem marmorarias de pequeno, médio e grande porte, que trabalham apenas nos setores de polimento, corte, acabamento e colocação de mármore e granitos. As maiores marmorarias são: Inpermal, Imperial Mármore, Marmopedras, Art Mármore, Arte Pedras, Escala Mármore, Pergran, GM-Granimármore, MB-Marmoraria Brasil Ltda, MultiPedras, Poliarte, Marmonorte, Marmoraria Pajuçara Ltda, etc.

Reservas

Devido a sua geodiversidade, o estado produz diferentes tipos de rochas ornamentais, onde detém uma grande reserva geológica favorável ao uso de rochas ornamentais e de revestimento, apresentando rochas de grande beleza e qualidade. Conforme dados do DNPM/PE, as reservas medidas de granitos ornamentais estão concentradas nos municípios de Pedra 61,62%, Arcoverde 14,26%, Flores 10,77%, Venturosa 8,89% e Alagoinha 2,05%. As reservas de quartzitos estão localizadas nos municípios de Ouricuri, Parnamirim e Santa Cruz. O total destas reservas perfaz a tabela a seguir:

Municípios	Reservas (m³)			
	<i>Medida</i>	<i>Indicada</i>	<i>Inferida</i>	<i>Lavrável</i>
ROCHAS ORNAMENTAIS (GRANITO E AFINS)	207.980.223	73.551.532	110.978.951	78.659.223
<i>Alagoinha</i>	4.288.874	1.953.404	60.000	2.811.379
<i>Arcoverde</i>	29.675.858	65.610	573.790	
<i>Bom Jardim</i>	1.443.523	5.778.393	38.435.141	1.217.637
<i>Flores</i>	22.410.160			
<i>Garanhuns</i>	1.730.939			
<i>João Alfredo</i>	2.075.980	76.258	147.645	2.075.367
<i>Pedra</i>	128.175.980	58439.087	67.843.000	72.554.840
<i>S.Lourenço da Mata</i>	79.850	87.775		
<i>Venturosa</i>	18.491.610	7.151.005	3.919.375	
ROCHAS ORNAMENTAIS (OUTRAS)	37.210.538	14.090.000	8.165.462	12.356.000
<i>Ouricuri</i>	30.890.000			12.356.000
<i>Parnamirim</i>	1.392.000	2.340.000	6.576.000	
<i>Pedra</i>	4.928.538	11.750.000	1.589.462	
Total Geral	245.190.761	90.641.532	119.144.413	91.015223

Tabela 1: Reservas estimadas de rochas ornamentais no Estado de Pernambuco (fonte: DNPM – 4º Distrito)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estado de Pernambuco é promissor para a produção de rochas ornamentais, haja vista que 70% de sua extensão territorial são constituídos por áreas geologicamente favoráveis ao embasamento cristalino.

Dados do DNPM mostram que existem em vigor 77 alvarás de pesquisa, 11 requerimentos de lavra e 15 portarias de lavra para rochas ornamentais no estado.

Os tipos de granitos mostram-se favoráveis a uma aceitação pelo mercado internacional e, portanto, de grande capacidade de geração de divisas. Possuem boas qualidades estético-decorativas, preços competitivos e suas características tecnológicas são excelentes.

O Estado oferece ainda facilidades de escoamento da produção, através de vias rodoviárias e ferroviárias, acesso fácil aos jazimentos, baixo custo operacional de extração, devido à

pequena espessura do capeamento e facilidade de exportação através dos portos de Recife e do Complexo Portuário de Suape, que se encontram em posição privilegiada para a navegação no Oceano Atlântico, dada a sua relativa proximidade com aos continentes africano e europeu, bem como o seu posicionamento estratégico para as rotas que demandam os Estados Unidos.

O entreposto da AD/DIPER, situado à margem da BR-101, na Região Metropolitana de Recife, atende à exportação de blocos e produtos beneficiados ligado ao Porto de Recife, sendo considerado estratégico pelos setores público e privado do Estado.

Pernambuco, que responde por aproximadamente 1% da produção nacional de granito, tem potencial para dobrar este volume nos próximos anos. O investimento médio para iniciar a exploração dos jazimentos é da ordem de R\$ 250 mil/pedreira.

Sabendo-se do grande potencial para rochas ornamentais de Pernambuco, cabe o governo estadual adotar as ações e medidas necessárias e conceder incentivos fiscais e créditos para compra de máquinas, cursos profissionalizantes, que permitam a qualificação da mão de obra e do próprio empresariado.

Assim sendo, recomenda-se criar uma política governamental para o setor, visando sanar os gargalhos que encarecem a nossa produção, propiciando um aumento da competitividade do produto brasileiro, o que irá resultar em futuro próximo em um significativo aumento da pauta de exportação.

Em apoio a tal assertiva, convém mencionar que a atual perspectiva do mercado, sinaliza para a diversificação da carteira de novos tipos de rochas a serem comercializadas, o que induz a necessidade da pesquisa geológica básica e abertura de novas jazidas.

No âmbito do governo federal, atualmente o DNPM juntamente com o SEBRAE, Ministérios das Minas e Energia e da Indústria e Comércio, estão elaborando o programa de desenvolvimento do setor de rochas ornamentais, o qual virá aprimorar as técnicas de pesquisa, extração, beneficiamento e comercialização de novos materiais pétreos, objetivando a ampliação da demanda dos mesmos, a nível interno e externo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil / DNPM, Principais Depósitos Minerais do Brasil, Vol.4, Granitos Ornamentais dos Estados de Pernambuco e Paraíba. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, Brasília - D.F p 437-454, 1991.
- Chiodi, C.F. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil – Mercado Interno e Externo. ABIROCHAS- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Anais- 2005- Recife –PE.
- Dantas, J.R.A., Mapa Geológico do Estado de Pernambuco / Texto Explicativo. DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, Recife - PE, 1985.
- Fernandes, T,W.G, Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado do Ceará: Mineração, Serrarias, Marmorarias e Desafio do Setor. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Estadual Paulista - Rio Claro, 2004.

Holanda, C.J..N., Cunha, A. C., Silva, F.A.F. e Filho, J.A.S., Catálogo dos Granitos de Pernambuco. Rochas para revestimento, Minérios de Pernambuco S/A, Recife - PE, 1987.

Mapa Geológico do Estado de Pernambuco, Escala 1:500.000 / Texto Explicativo. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, Recife- PE, 2001.

Mendes, V.A., Paiva, I.P., Filho, A.F.S. et all, Condicionamento Geológico das Ocorrências de Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. IIIº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife –PE, 2002.

CAPÍTULO 21

GESTÃO AMBIENTAL NAS INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DA PARAÍBA

Antonio Augusto Pereira de Souza¹, Djane de Fátima Oliveira, João M. S. Araújo, Silvano A. B. Almeida; S. M. A. Vighini

INTRODUÇÃO

Hoje, o aproveitamento dos recursos minerais deve estar comprometido com os requisitos do conceito de desenvolvimento sustentável, ou seja, satisfazer as necessidades do presente sem prejudicar as futuras gerações; isso implica, entre outros fatores, no aproveitamento racional dos recursos naturais, preservando-se o meio ambiente. O tratamento de minérios não chega a ser uma fonte de grande contaminação ambiental, em comparação com outras atividades industriais e com a agricultura, porém, é inegável que o descarte dos rejeitos das usinas de beneficiamento poderá eventualmente resultar num apreciável fator de poluição.

Há uma pressão crescente para que os rejeitos, ao invés de danificarem os terrenos, sejam reutilizados, ou mesmo reciclados, visando a restauração das áreas mineradas, ou que sejam cuidadosamente dispostos. Vale ressaltar que a crescente tendência mundial de reciclagem de materiais e aproveitamento de resíduos industriais e urbanos tem sido feita com uso intensivo das tecnologias correntes de tratamentos de minérios, ou variantes dessas (LUZ e LINS, 2004).

As rochas ornamentais e de revestimento, também chamadas pedras naturais, rochas lapídeas e rochas dimensionais, do ponto de vista comercial, são basicamente classificadas em mármore e granitos. Estas duas categorias respondem por 90% da produção mundial. Os demais tipos são as ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos e conglomerados naturais (PEITER *et al*, 2001).

Estas 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 (REGINA COELI *et al*, 2005).

A aplicação do granito na construção civil em substituição a outros produtos vem sendo crescente, pelo fato de suas características apresentarem vantagens de uso: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e estética. Seu dinamismo de mercado está fundamentado na sua elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais. Como é resistente ao ata-

1 Químico e Engenheiro Civil, Ph.D. Professor-titular da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). E-mail: aauepb@gmail.com

que químico, ao desgaste abrasivo, a utilização do granito em revestimentos externos tem aumentado, tanto em pisos quanto em fachadas (PEITER *et al*, 2001).

A Indústria da Rocha Ornamental caracteriza-se pela produção de elevadas quantidades de resíduos, entre os quais, com marcada incidência, as lamas resultantes da fase de transformação. Estes resíduos podem ser designados por "lamas", "lodos" ou "natas". A atividade transformadora das rochas ornamentais está fortemente representada no estado da Paraíba e, embora seja muito importante a nível econômico e social, ao longo dos anos tem-se assistido a graves problemas relacionados com a inexistência de um sistema de gestão dos resíduos do setor.

O desdobramento dos blocos de pedras gera resíduos de natureza diferentes e de volumes significativo, principalmente durante o processo de serragem, onde cerca de 30% a 40% do volume do bloco perde-se escoado como material fino, em forma de polpa composta por cal, pó-de-pedra e água. Os processos complementares – polimento e lustro, mais 1% a 2% do volume de chapas também é perdido escoado como polpa aquosa, porém destituída da gralha e com restos dos abrasivos, resinas e vernizes. Outras perdas da ordem de 10% a 20% dos volumes processados ocorrem sob forma de retalhos de pedra, correspondente a costaneiras, retraços, peças quebradas e os indiretos como laminas de aço, madeira, papelão, óleo, etc.

Os resíduos resultantes desta indústria são produtos "aparentemente sem toxicidade", constituídos principalmente por pó de pedra e água, são muitas vezes denominados de subprodutos pela sua possível reutilização. O fato de não existirem locais licenciados para a deposição destes resíduos, nem entidades credenciadas para efetuarem a recolha, transporte e valorização, leva as industriais a fazerem a deposição dos resíduos de uma forma não controlada nos seus próprios terrenos ou a pagar serviços de recolha por empresas não licenciadas, caindo em situações de descumprimento da lei.

O Brasil é um grande produtor de rochas ornamentais, a sua produção é feita na maioria das empresas brasileiras, a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra. Na serragem, cerca de 25% a 30% do bloco são transformados em lamas, que depois são depositadas nos terrenos das empresas. A quantidade estimada de resíduos resultantes do corte de mármore e granito é de 240 mil t/ano, distribuídas principalmente entre Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba. Como as quantidades de resíduos produzidas são muitas elevadas, e tentando contribuir para um desenvolvimento sustentável, existem neste País vários estudos, para um aproveitamento destes resíduos na construção civil (OLIVEIRA, 2005).

Assim o objetivo deste trabalho é abordar de forma sistemática os problemas ambientais exclusivos e provenientes da indústria de rochas ornamentais do estado da Paraíba, que mesmo gerando resíduos não perigosos à mesma está inserida neste contexto e busca aplicar de forma concreta os atenuantes implantados através de um "Sistema de Gestão Ambiental (SGA)", bem como a estrutura necessária para implantação de programas como: 3R (redução, reutilização e reciclagem), coleta seletiva, empresas especializadas para recebimento de produtos classificados etc, minimizando o passivo ambiental e aumentando a conscientização quanto à preservação do meio ambiente, da cultura e recurso naturais, tornando possível o crescimento econômico do setor de forma sustentável, incentivando a mudança de comportamento dos indivíduos envolvidos no processo de transformação de rochas ornamentais e principalmente respeitando a comunidade.

Diante do exposto, este trabalho mostra a gestão do impacto e passivo ambiental dos principais resíduos da indústria de beneficiamento de granito do Estado da Paraíba, inclusive identificando os aspectos operacionais de adequação dos destinos finais destes resíduos provenientes desta atividade. Bem como aplicar parte destes rejeitos em projetos paisagísticos revitalizando espaços degradados e confinados com texturas, cores, e tons em harmonia com a natureza, tornando-os refúgios agradáveis de se estar e contemplar.

METODOLOGIA

Neste trabalho foi adotado um planejamento metodológico que permitiu o uso racional dos recursos ambientais no desenvolvimento de atividades humanas, promovendo a sustentabilidade ambiental, sustentabilidade econômica e a equidade Social. Otimizando os resultados das atividades de beneficiamento, assim como possibilitou uma maior flexibilidade ao ciclo produtivo.

O processo de beneficiamento de rochas ornamentais consiste das seguintes etapas:

- Formação de Cargas;
- Desdobramento
- Acabamento (polimento, escovado, levigado, flameado, etc).
- Expedição;
- Tratamento de Efluente.

As empresas estudadas neste trabalho estão instaladas na Cidade de Campina Grande/PB com equipamentos de grande porte. A GRANFUJI e a FUJI Mármore e Granitos estão localizadas, em terrenos cujas áreas chegam a 50 mil metros quadrados e 35 mil metros quadrados, respectivamente, modernas plantas industriais que processam matérias-primas provenientes de jazidas próprias ou adquiridas junto a seus fornecedores, com capacidade instalada de 720.000 m² por ano.

Os equipamento destas empresas são todos importados da Itália, consistem em: 5 teares GASPARI MENOTTI, quatro JS 350 e um JS 380 (italianos), com 3,50 m de largura, sistema de alimentação automatizado e elevado nível de automação e 2 teares BRETON, com 4,50 m de largura e alimentação automática; 2 polidoras GASPARI MENOTTI de 18 cabeças; 2 fresa-ponte PEDRINI; 1 flameadora/apicoadora PELLEGRINI e 2 talhas-blocos de 60 discos cada um e uma linha completa de ladrilhos padronizados da BRETON.

O sistema de gestão ambiental (SGA) na indústria de beneficiamento contempla ações que devem ser efetivamente estimuladas pela consciência das pessoas, através da educação ambiental e buscar a inovação tecnológica no sentido de minimizar a geração, pois, devido à ação direta na extração da matéria-prima, todo o processo é de extrema degradação e passivo ambiental. Desta forma, a implantação de SGA deve ser uma política das empresas, inclusive tornando-se uma prioridade e compromisso da alta direção (Diretores e Gerentes).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto maior referente ao diagnóstico e gestão ambiental de todas as áreas da Paraíba que irá evoluir no decorrer do tempo e muitos foi os resultados já alcançados. O presente trabalho irá expor uma rápida síntese das etapas e os resultados alcançados, para, em seguida, mostrar os principais resultados conseguidos para o município de Campina Grande – PB, como mostra a Tabela 1, onde está explícita as medidas atenuantes, para os resíduos industriais, determinadas pelas empresas de beneficiamento desta cidade.

Tabela 1: Gestão dos resíduos industriais de beneficiamento de granito da cidade de campina grande na paraíba.

RESÍDUO	EFLUENTE	TON.	MEDIDAS ATENUANTES
Lama Abrasiva	Sólido/ Líquido	18000	Aterro, Adubo, Argamassa, Tijolo Solo-Cimento, etc.
Costaneiras e Retraço	Sólido	6000	Construção Civil (pedra rachão, calçadas, revestimento de paredes, etc.)
Lamina de Aço	Sólido	70	Siderúrgicas
Madeira e Sacos de Papel	Sólido	12	Comercializados na Ind. De Reciclagem.
Abrasivos (Policarbonato+sílica)	Sólido	1	Descarte (lixão), porém com interesse para reciclagem.
Óleos	Líquido	0,7	Reuso para Fundição

Fonte: GRUPO GRANFUJI – ANO 2006

As Figuras 1 a 9 apresentam fotos dos resíduos gerados durante o beneficiamento de granitos nas indústrias de Campina Grande/PB



Figura 1: Lama Abrasiva (Serragem)



Figura 2: Costaneiras (Serragem)



Figura 3: Laminas de Aço (Serragem)



Figura 4: Sacos de papel (Cal, cimento, etc.)



Figura 5: Abrasivos (Polimento)



Figura 6: Retraços dos ladrilhos (Recorte)



Figura 7: Embalagem de madeira (Expedição)



Figura 8: Efluente líquido (Etapas do processo)



Figura 9: ETE (Tratamento Efluente)

Os rejeitos utilizados são coletados nas empresas de beneficiamento de rochas ornamentais localizadas na cidade de Campina Grande no estado do Paraíba. A partir de equipamentos de cominuição e de classificação, normalmente utilizados no processo de beneficiamento de minérios e de uma serra manual de disco diamantado, procurou-se transformar os rejeitos grossos que ocorrem sob forma de retalhos de pedra, em peças para serem utilizadas como insumo da construção civil, como por exemplo em calçadas, como mostram as Figuras 10 a 15 abaixo:



Figura 10 – Calçada com Retraço



Figura 11 – Calçada com Costaneiras



Figura 12: Tijolo de solo-cimento com lama abrasiva



Figura 13 – Casa de tijolo solo-cimento (lama abrasiva)



Figura 14 – Argamassa com lama Abrasiva

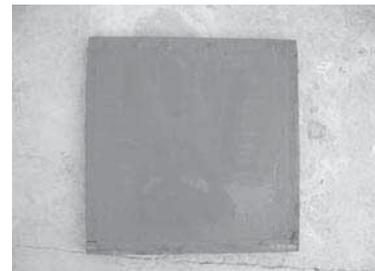


Figura 15: Lajota com Tijolo com lama abrasiva

CONCLUSÃO

Diante da importância da implantação do SGA nas indústrias de beneficiamento de granito do estado da Paraíba, é possível concluir:

- Controle e diminuição dos passivos;
- Melhor relação entre sociedade e empresa;
- Menores custos produtivos;
- Otimização da área industrial;
- Menor consumo de água no processo.

Este trabalho evidencia que é possível reduzir a quantidade de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais, utilizando soluções de baixo custo e capazes de agregar valor comercial aos rejeitos. Como também demonstra que a alimentação deste processo depende essencialmente de uma educação ambiental de qualidade, e de um ambiente de geração e disseminação de tecnologias e conhecimentos, fundados em uma ampla interação entre os colaboradores, fornecedores e clientes.

REFERÊNCIAS

LUZ, A. B. e LINS, F. A. F., INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE MINÉRIOS, CT2004-179-00 Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios, Pág. 3 a 16 - Rio de Janeiro - Dezembro/2004.

REGINA COELI C. CARRISSO; MARÍLIA STELLA V. COSTA; MAGNO R. C. CARVALHO; FRANCISCO W. H. VIDAL. Avaliação de granitos ornamentais do sudeste através de suas características tecnológicas. CATE/Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT - Avenida Ipê 900, Ilha da Cidade Universitária, 21941-590, Rio de Janeiro – RJ – Brasil. 2005.

OLIVEIRA, I. C. A. As lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em pêro pinheiro (SINTRA). Relatório de Fim de Curso de Arquitetura Paisagista. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia. Lisboa - Portugal, 2005

PEITER, C.C. *et al.* Rochas Ornamentais no século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/Abirochas. 150p, 2001.

CAPÍTULO 22

APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DOS CALCÁRIOS DO CARIRI CEARENSE

*Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Maria Angélica Batista Lima,
Núria Fernandez Castro; Tácito Walber Gomes Fernandes*

RESUMO

O presente estudo é uma das atividades definidas no projeto “Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do Calcário do Cariri – CE”, com aporte financeiro do CT-Mineral, no âmbito do Convênio de Cooperação Técnico-Científico entre o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT e a Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Estado do Ceará – SECITECE, cujo objetivo principal é promover o desenvolvimento econômico-social da região do Cariri cearense. A extração dos calcários sedimentar e metamórfico constitui-se na principal atividade econômica dos municípios de Santana do Cariri, Nova Olinda, Altaneira e Farias Brito no Ceará, sendo a agropecuária uma atividade de subsistência. Esses calcários são explorados de forma rudimentar sem nenhum critério operacional quanto ao desmonte de rocha, resultando na produção de rejeitos, principalmente, da Pedra Cariri (calcário sedimentar). Apresentam-se aqui os resultados até então obtidos, no sentido de dar um aproveitamento econômico a esses materiais com incremento da renda dos produtores e a geração de mais emprego na região. A caracterização tecnológica revelou tratar-se de um material passível de ampla utilização se comparado aos padrões qualitativos exigidos para utilização industrial de minérios carbonáticos calcíticos. O estudo contemplou a aplicação dos rejeitos e minérios como: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), agregado para revestimento asfáltico, borracha, e argamassa. Em todos os testes realizados foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao seu emprego para os fins inicialmente propostos. A viabilidade econômica da aplicação dos rejeitos resultantes da lavra destes materiais é factível considerando sua aplicação em indústrias existentes na região, ou naquelas a serem implantadas a partir destes estudos.

Além destas, outras aplicações estão sendo pesquisadas, junto a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, piso tipo marmorite, produção de blocos para utilização em pavimentação e madeira prensada para indústria de móveis.

Palavras-Chave: Rejeitos, Calcário, Aplicações Industriais.

¹ Engenheiro de Minas, Ph.D. Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: fhollanda@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

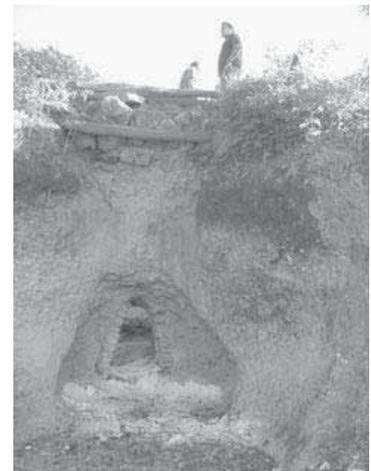
A extração do calcário sedimentar laminado, "Pedra Cariri", constitui-se na principal atividade econômica dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, no Ceará. Esse calcário, pertencente à Formação Santana e de idade cretácea, vem sendo explorado, por moradores, há cerca de 30 anos para aplicação como piso e revestimento de fachadas, na forma de lajotas. O fato da grande maioria dos produtores não dispor de nenhum tipo de mecanização, aliado a fatores como a estratificação em camadas de espessura variável e separadas por planos de descontinuidade, contribuiu para a geração de um grande passivo ambiental ao longo de todo este tempo, na região. O volume de perda chega a representar 70% da produção, e está contabilizado atualmente em 2,4 milhões de toneladas de rejeitos, depositados como entulho nas frentes de lavras, margens de estradas, próximos a drenos e córregos (Figura 1).

Atualmente, os rejeitos gerados na produção desta rocha têm seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo sua utilização mais nobre na composição de cimento da ITAPUÍ-Barbalhense Indústria de Cimento S/A, pertencente ao Grupo João Santos, onde são consumidas 10.000 toneladas/mês de rejeitos.

Situação semelhante ocorre com o calcário metamórfico de Altaneira e Farias Brito, municípios situados na mesma região. Trata-se de calcário cristalino, predominantemente cinza esbranquiçado com textura sacaroidal, granulação média a fina, aflorante de forma descontínua por uma extensão aproximada de 50km e com espessura variada, ora estreitando, ora atingindo até 500m. A extração deste minério é realizada a céu aberto e de forma rudimentar, sem nenhum critério operacional quanto ao desmonte da rocha (Figura 2). O minério lavrado é calcinado em caeiras artesanais, instaladas desordenadamente sem nenhuma preocupação ambiental, sendo os fornos bastante deficientes o que resulta num produto da cal de baixa qualidade (Figura 3).



Figura 1: Pilha de rejeitos da Pedra Cariri



Figuras 2 e 3: Extração e calcinação do calcário metamórfico

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos em estudos, até agora, realizados no sentido de dar um aproveitamento econômico a esses materiais, e em decorrência incrementar a renda dos produtores e gerar mais emprego na região. Da combinação de levantamentos bibliográficos, estudos de mercado e ensaios de caracterização para diversas aplicações, obti-

veram-se resultados muito satisfatórios para a utilização dos minérios e resíduos que, em conjunto com empresas da região, começam a ser industrialmente aproveitados.

2. ALTERNATIVAS DE APLICAÇÕES

Conquanto seja amplo o número de aplicações industriais e usos a que se prestam os calcários, direcionou-se esta pesquisa a partir dos resultados de caracterização tecnológica obtidos nos calcários sedimentar e metamórfico ponderando acerca da vocação local e da ampliação do leque de indústrias na região.

A caracterização tecnológica revelou tratar-se de um material passível de ampla utilização quando comparado aos padrões qualitativos exigidos para utilização industrial de minérios carbonáticos calcíticos. A Tabela I apresenta os resultados das análises químicas das amostras "head sample" dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito. A Tabela II mostra os resultados das análises químicas das amostras de rejeitos finos dos efluentes das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri. O estudo contemplou inicialmente a aplicação dos rejeitos e minérios como: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), como agregado em revestimento asfáltico e na formulação de argamassa.

Tabela I: Resultados das análises químicas 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 Pedreira	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	0,270	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	42,0	44,3	6,84	4,36	0,281	0,30	-	0,112	-	0,312	0,010	
Farias Brito	42,0	46,2	5,87	2,26	0,287	0,31	-	0,085	-	0,272	0,010	

(*) Perda por calcinação – Fonte: Cetem, 2006

Tabela II: Resultados das análises químicas das amostras de rejeitos finos das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	R.I. (**)	Teor(%)							
			CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
SC-01	41,4	0,37	53,8	1,0	1,6	0,32	0,66	0,46	0,02	<0,01
SC-02	41,6	0,35	54,5	1,1	0,75	0,16	0,44	0,69	<0,01	<0,01
SC-03	41,9	0,37	54,0	1,1	0,97	0,20	0,59	0,50	0,01	<0,01
SC-04	41,4	0,39	53,3	1,5	1,5	0,26	0,59	0,79	<0,01	<0,01
SC-05	41,9	0,31	52,7	1,7	1,6	0,14	0,62	0,59	0,01	<0,01
NO-01	42,3	0,34	53,4	1,4	0,68	0,16	0,60	0,86	<0,01	<0,01
NO-02	42,2	0,30	53,6	1,1	0,86	0,30	0,66	0,73	<0,01	<0,01

(*) Perda por calcinação (**)Resíduos insolúveis. Fonte: Cetem, 2006

Nas tabelas acima, pode-se observar que os calcários laminados de Santana do Cariri e Nova Olinda têm um alto conteúdo em carbonato de cálcio (em torno de 96%, considerando a relação estequiométrica CaO/CaCO_3 que é 56/100) e baixos teores de contaminantes. Os calcários cristalinos, de Altaneira e Farias Brito, com maior conteúdo em MgO têm uma pureza menor com relação ao teor de carbonato de cálcio, apresentando porém, também, boas características para diversas aplicações.

Quanto à alvura, parâmetro importante para o uso de calcário em diversas aplicações, em testes realizados no CETEM, o cristalino deu bons resultados, porém, para o laminado obteve-se uma alvura muito baixa que não se conseguiu melhorar com tratamento com ditonito de sódio. Acredita-se que isto se deva à presença de argila, com ferro, dentro da estrutura cristalina do calcário, que não se elimina na queima do mesmo.

2.1 Revestimento Asfáltico

O mais recente estudo da CNT - Confederação Nacional do Transporte revelou que 80% das estradas em piores condições de tráfego encontram-se no Nordeste brasileiro. Para reversão deste quadro faz-se necessário o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que proporcionem o barateamento da construção e manutenção das estradas. Este processo passa pelo reaproveitamento de materiais que possam ser usados em revestimentos e que hoje se encontra desperdiçado na forma de rejeito, gerando passivo ambiental. Neste sentido foram realizados no CETEM (Ribeiro, 2006), apenas com os calcários de Farias Brito e Altaneira, os ensaios descritos a seguir, porque os calcários laminados, como o próprio nome indica são muito friáveis e pulverulentos para esse tipo de aplicação.

Análise granulométrica: As curvas granulométricas obtidas apresentaram comportamentos semelhantes nas frações mais finas do material, onde se verificou uma razoável aproximação da granulometria obtida com aquela recomendada pela faixa C do DNER. Nas demais frações observaram-se um maior distanciamento entre a curva obtida e a faixa especificada, principalmente nas frações entre as peneiras 3/8 e N°200, onde o material se mostrou excessivamente graúdo. Para que se possa utilizar o material em estudo como agregado para pavimentação é necessário misturá-lo a outros materiais pétreos de menor granulometria, como areia de campo e pó de pedra, de modo a enquadrá-lo na curva especificada.

Índice de forma (ABNT, 1983): Os valores obtidos dos índices de forma dos agregados de Farias Brito $f=0,76$ e Altaneira $f=0,75$ são considerados bons, uma vez que o limite mínimo do fator de cubicidade é $f \geq 0,50$.

Massa específica do agregado graúdo: A massa específica seca do agregado graúdo proveniente de Farias Brito e de Altaneira tiveram um valor médio de $2,66\text{g}/\text{cm}^3$ e $2,69\text{g}/\text{cm}^3$, respectivamente, enquanto que para a massa específica saturada seca os valores encontrados foram de $2,68\text{g}/\text{cm}^3$ e $2,76\text{g}/\text{cm}^3$. Esses valores estão dentro dos limites preconizados pela NBR 9937/87. O valor médio de absorção foi de 0,78%, para a amostra proveniente de Farias Brito e de 0,39% para a amostra de Altaneira.

Adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso: os resultados dos ensaios foram satisfatórios, atingindo um perfil para utilização dos agregados na pavimentação. A classificação de adesividade no ensaio pelo método RRL, foram consideradas satisfatórias usando

CAP50/60 e 0,75% de DOPE (PETRODOPE), ou seja, não se observou qualquer deslocamento da película betuminosa que cobre o agregado.

Resistência ao choque e ao desgaste por abrasão Los Angeles (DNER, 1998): os agregados apresentaram boa resistência, possuindo dureza suficiente para resistir à degradação provocada pelos equipamentos de compactação, durante a construção do pavimento, e pela ação do tráfego e clima da região, durante sua vida útil. Verifica-se que os valores encontrados de 26,76%, para Farias Brito, e de 36,52%, para Altaneira, ficaram abaixo do valor máximo recomendado pelas especificações do DNIT que é de 40%. Este resultado credencia, com relação ao desgaste, a utilização como agregado para misturas asfálticas.

Avaliação da durabilidade: o ensaio de durabilidade por ataque com sulfato de sódio apresentou resultados satisfatórios. Os valores de perda de 0,5%, no material de Altaneira, e de 0,6%, no de Farias Brito, encontram-se bem abaixo do valor limite estabelecido de 12%.

Os dois materiais estudados podem ser utilizados como agregados graúdos em revestimento asfáltico, visto que os ensaios mostraram um bom comportamento mecânico das duas amostras, tendo os materiais sido aprovados em todas as especificações do DNIT para agregados graúdos para pavimentação (Ribeiro, 2006 e NUTEC, 2005). Contudo há de se fazer correção granulométrica de modo a atender aos limites da faixa recomendada pelo DNIT. As misturas realizadas com esses agregados também se mostraram satisfatórias uma vez que atenderam as especificações de volume de vazios, relação betume-vazios, fluência e estabilidade.

2.2 Calcário Agrícola

O calcário tem importante papel na agricultura, seja corrigindo a acidez do solo, seja como fonte de cálcio e magnésio para o solo.

A grande maioria dos solos brasileiros é ácida, com grandes concentrações de íons hidrogênio e/ou alumínio. A acidez dos solos promove também o aparecimento de elementos tóxicos para as plantas (Al, Mn e Fe) além de causar a diminuição da presença de nutrientes para as mesmas. Faz-se necessária, então, uma correção até a neutralidade, de modo que o solo possa fixar mais o fósforo, permitindo assim que as plantas adquiram uma maior produtividade. A correção diminui a perda de nutrientes por lixiviação e evaporação, que segundo estudos da EMBRAPA, chega a 20% dos nutrientes consumidos como fertilizantes, quando aplicados a solos ácidos (EMBRAPA).

A correção do pH do solo é realizada mediante a adição de calcário junto com gesso agrícola, em uma operação denominada de calagem. No entanto, para que essa seja eficiente é necessário que ela seja feita pelo menos três meses antes do plantio e/ou adubação.

A qualidade do calcário corretivo depende, basicamente, do seu Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). O PRNT é baseado no teor de carbonatos presentes na rocha calcária (Poder de Neutralização) e no tamanho das partículas (granulometria). O PRNT determina a eficiência do calcário: quanto menor o PRNT, maior será a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez de um determinado solo.

Os calcários de Farias Brito, Altaneira e Rejeitos da Pedra Cariri pelas suas composições calcíticas poderiam comprometer sua aplicação como corretivo de solo, em função de seu baixo teor de magnésio, no entanto a adição de outro mineral (produto) com maior teor de óxido de magnésio permite a formação de um MIX que atenda as especificações. Neste trabalho sugere-

se a formulação de um MIX composto por calcário, magnesita e gipsita (gesso agrícola), este último em razão da sua abundância na região e de seu elevado teor de MgO, notadamente em Santana do Cariri.

A magnesita é um importante mineral industrial utilizado na produção de óxido de magnésio, cujas aplicações são quase que exclusivamente sob a forma de magnésia obtida a partir da sua calcinação. A magnesita calcinada cáustica é empregada como fertilizante de solos ou na alimentação animal (ração balanceada). Como fertilizante, o óxido de magnésio tem a função de suprir a necessidade das plantas em magnésio, que é um metal presente no complexo alimentar do ciclo da clorofila.

O gesso, por sua vez, dissolve mais rápido em solos do que em soluções puras, porque na interface sólido-líquida do solo ocorrem diversas reações que tem importância no comportamento deste material. Quando usado como melhorador de solos, os tratamentos com gesso agrícola tem resultado notáveis, aumentado a produção numa grande variedade de culturas. Em solos com deficiência de cálcio associado ou não à toxidez do alumínio, o gesso agrícola corrige a acidez no solo e a deficiência de cálcio permitindo o crescimento das plantas. A atuação do gesso, também, ativa a vida microbiana do solo e aumenta a resistência das plantas a pragas, doenças e períodos de estiagem.

De acordo com NUTEC (2005), as amostras de calcário, magnesita *in natura*, magnesita calcinada, e gesso agrícola foram preparadas em diferentes proporções e analisadas pela EMBRAPA, com a finalidade de verificar o teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio (Tabela III).

Tabela III: Resultados das análises químicas das diferentes composições do MIX.

	% CaO	%MgO
CALCÁRIO FARIAS BRITO	42,72	8,89
Magnesita <i>in Natura</i>	1,83	44,77
Magnesita Calcinada	1,82	54,91
70% Farias Brito + 30% Magnesita <i>in Natura</i>	30,45	19,65
75% Farias Brito + 25% Magnesita Calcinada	32,49	20,40
CALCÁRIO ALTANEIRA	52,70	1,49
60 % Altaneira + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	32,35	18,80
REJEITO DA PEDRA CARIRI	51,47	1,11
60% Rejeito + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	31,61	18,58
70% Rejeito + 30% Magnesita Calcinada	36,57	17,25
GESSO AGRÍCOLA	28,76	1,75
50% Farias Brito + 30% Magnesita + 20% Gesso Agrícola	27,66	18,23
50% Farias Brito + 30% Magnesita Calcinada + 20% Gesso Agrícola	27,66	21,27
50% Altaneira + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	31,29	16,68
50% Altaneira + 35% Magnesita Calcinada +15% Gesso Agrícola	31,30	20,23
50% Rejeito + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	30,69	16,49
50% Rejeito + 35% Magnesita Calcinada + 15% Gesso Agrícola	30,69	20,04

Fonte: NUTEC, 2005

Para o Ministério da Agricultura o calcário agrícola deve atender a duas características básicas, a saber (NUTEC, 2005):

- A soma dos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) deve ser superior a 38 %;
- O corretivo deve passar 100 % em peneiras com 2 mm (10 mesh) de abertura e pelo menos 50 % na peneira com 0,3 mm (50 mesh) de abertura.

Contudo o mercado agrícola é mais exigente em relação às características químicas do calcário, preferindo os corretivos de solo que apresentam:

- No mínimo 10 % MgO, sendo dada primazia àqueles que apresentam mais de 15 % MgO;
- Uma soma de % CaO e % MgO mínima de 48 % e um baixo teor de Ferro e Alumínio.

Todas as formulações propostas, nesta pesquisa, para elaboração do MIX atenderam satisfatoriamente as especificações estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, e somente duas delas não atenderam às exigências procedentes do mercado agrícola.

2.3 Ração Animal

O calcário calcítico, utilizado como ração animal, atua basicamente como fonte de cálcio, substituindo os silicatos inertes prejudiciais à digestão das aves. Os compostos de fósforo e cálcio somam em torno de 75% das substâncias componentes do organismo animal e 90% do seu esqueleto.

A velocidade de absorção de cálcio é função direta do tamanho das partículas, isto é quanto menor for o tamanho da partícula, mais rápida será a sua absorção pelo organismo dos animais. A Tabela IV apresenta as características físico-químicas requeridas para utilização de calcário como matéria-prima de rações.

Tabela IV: Características físico-químicas dos calcários utilizados como matéria-prima de rações

Substância / Propriedade	Valor
CaO (mínimo)	36 %
MgO (máximo)	1,5 %
K ₂ O (máximo)	1 %
F (máximo)	3 %
As (máximo)	4 ppm
Pb (máximo)	20 ppm
Umidade (máxima)	3 %
Tamanho das partículas	100% < 74 µm (200 malhas)

Fonte: Mineropar

Os consumidores de calcário na aplicação de nutrientes animais por vezes desconhecem as características do mineral. É oportuno, portanto, fornecer informações básicas para melhor conhecimento dos tipos de produtos a serem aplicados. O objetivo principal da análise dos alimentos é o de se conhecer a composição química, além de verificar a identidade e pureza, sejam elas de natureza orgânica ou inorgânica.

Dispomos no presente trabalho de dados referentes à composição química dos calcários de Farias Brito, Altaneira e Rejeitos da Pedra Cariri (NUTEC, 2005), objetivando sua aplicação como matéria-prima para rações (Tabela V).

Tabela V: Composição química de amostras provenientes dos Rejeitos da Pedra Cariri (Nova Olinda e Santana do Cariri), e das jazidas de Farias Brito e Altaneira.

Determinações	Farias Brito	Altaneira	Rejeito da pedra Cariri
Oxido de Cálcio (% CaO)	42,74	50,68	51,51
Oxido de Magnésio (% MgO)	8,92	1,49	1,11
Sílica (% SiO ₂)	1,25	0,75	3,80
Ferro (% Fe ₂ O ₃)	0,26	0,12	0,82
Perda por calcinação a 1000 °C (%)	41,50	39,18	42,69

Fonte: NUTEC, 2005

Os calcários analisados são calcíticos e, quando finamente britados e passados em peneira de 80 a 325 mesh, podem ser usados como complemento de sais minerais em várias rações para aves ou para pecuária. Sugere, então, a utilização direta dos rejeitos finos das serrarias de Nova Olinda e Santana do Cariri, obtidos a partir da implantação dos tanques de decantação nestas áreas.

Para este fim são usados quase unicamente calcários calcíticos com os seguintes teores:

- CaO = 50% (Teor mínimo)
- MgO = 1,5% (Teor Máximo)
- SiO₂ = 1,5% (Teor Máximo)

O teor de sílica em algumas rações é limitado, embora isso não se constitua numa objeção maior, uma vez que não é regra geral. Assim sendo, o Rejeito da Pedra Cariri tem indicação para aplicação como matéria-prima na produção de ração animal.

Foram, ainda, realizadas análises químico-bromatológicas, no Laboratório de Nutrição Animal pertencente à UFC-Universidade Federal do Ceará, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela VI.

Tabela VI: Características químico-bromatológicas de amostras *in natura* dos Rejeitos da Pedra Cariri, de Farias Brito e Altaneira.

Determinações	Farias Brito	Altaneira	Rejeito da Pedra Cariri
Matéria Seca (%)	100	100	100
Cinza ou Matéria Mineral (%)	76,17	75,80	71,72

Fonte: NUTEC, 2005

A determinação da Matéria Seca é ponto de partida na análise dos alimentos, uma vez que a preservação dos mesmos pode depender do teor de umidade presente no material, sendo por esta razão um fator importante na comparação do valor nutritivo entre dois ou mais alimen-

tos. Além disto, é um fator utilizado na comparação do resultado de análises realizadas em diferentes épocas, locais ou regiões, ou seja, como partindo do pressuposto que o alimento continha 100% de matéria seca.

A Cinza ou Matéria Mineral é o produto que se obtém após o aquecimento de uma amostra, á temperatura de 600°C, durante quatro horas ou até a combustão total da matéria orgânica. Sua determinação fornece indicação da riqueza em cálcio e fósforo do alimento analisado.

As amostras analisadas, neste trabalho, mostraram-se ricas no macro-elemento cálcio que desempenha, no organismo animal, funções imprescindíveis ao desenvolvimento normal. São essenciais à formação de tecido ósseo, atuam no equilíbrio ácido-base do organismo e na formação dos dentes. O cálcio está envolvido no mecanismo da coagulação do sangue e na regulação do ritmo cardíaco.

2.4 Cerâmica (Esmalte)

O calcário é usado como fundente na indústria de cerâmica e de vidro com a função básica de fase vítrea, ou de diminuir a temperatura de formação desta na participação com outros componentes de maior grau de refratariedade. Na indústria de cerâmica e de vidro os materiais fundentes empregam o calcário em grandes concentrações, o que resulta na redução dos custos destes materiais tornando-os relativamente baixos. Em consequência os fundentes são materiais intimamente ligados aos benefícios econômicos tanto como ganho energético como no aumento da produtividade nos processos industriais.

O calcário é bastante utilizado como fundente na composição do esmalte cerâmico, uma vez que a opacificação apresentada beneficia na diminuição da condutividade elétrica e, conseqüentemente, na eliminação de poros reduzindo a absorção.

Nesta pesquisa (NUTEC, 2005) vislumbrou-se o emprego dos rejeitos das pedreiras de Nova Olinda e Santana do Cariri, assim como dos depósitos de Altaneira e Farias Brito na formulação de esmaltes cerâmicos. Foram, então, realizados testes na CELENE-Companhia Eletrocerâmica do Nordeste, cujos resultados encontram-se apresentados nas Tabelas VII e VIII.

Tabela VII: Composição do esmalte para cada amostra calcária.

FELDSPATO	59%
QUARTZO	14%
CAULIM	10%
CALCÁRIO	16%
ÁGUA	660 ml

Fonte: NUTEC, 2005

Tabela VIII: Resultados dos testes com esmalte formulado para cada amostra calcária, para uso em temperatura de 1280°C.

AMOSTRA	DENSIDADE (° Bé)	COR APÓS QUEIMA
Calcário de Farias Brito	40	Branco transparente
Calcário de Altaneira	36	Branco transparente
Rejeitos da Pedra Cariri	40	Bege Brilhante Opaco

Fonte: NUTEC, 2005

A utilização do calcário da região do Cariri cearense na formulação de esmalte para indústria cerâmica mostrou-se viável diante dos resultados obtidos após a queima dos corpos-de-prova.

2.5 Formulação de argamassa

Os estudos para uso do rejeito do calcário do Cariri na formulação de argamassa, conduzidos pela Universidade Federal de Pernambuco, concluíram que é viável sua utilização em substituição de uma parte de areia ou cimento (Silva, 2008). No primeiro caso, substituindo diferentes traços de areia por rejeito de calcário laminado, os ensaios demonstraram uma ligeira perda de resistência à compressão a partir do sétimo dia independentemente da quantidade de calcário adicionado (Tabela IX). No segundo caso, onde diversas proporções de cimento foram substituídas pelo rejeito do calcário laminado, os ensaios mostraram que o uso do calcário no lugar do cimento produz uma perda na resistência à compressão, porém, essa resistência não diminui a partir do sétimo dia de cura, o que não compromete seu uso na fabricação de argamassa (Tabela X).

Tabela IX: Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adição	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,73 Mpa	18,99 Mpa	17,24 Mpa
2 / 5%	9,49 Mpa	14,24 Mpa	16,49 Mpa
3 / 10%	11,42 Mpa	19,24 Mpa	14,24 Mpa
4 / 15%	14,99 Mpa	18,49 Mpa	14,24 Mpa
5 / 20%	16,23 Mpa	13,74 Mpa	13,49 Mpa
6 / 25%	14,74 Mpa	13,99 Mpa	15,74 Mpa

Fonte: Silva, 2008

Tabela V: Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adiação	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,62 Mpa	15,44 Mpa	19,94 Mpa
2 / 5%	12,77 Mpa	13,64 Mpa	13,57 Mpa
3 / 10%	10,28 Mpa	13,74 Mpa	13,52 Mpa
4 / 15%	13,27 Mpa	13,19 Mpa	15,37 Mpa
5 / 20%	8,82 Mpa	10,49 Mpa	14,54 Mpa
6 / 25%	7,50 Mpa	10,49 Mpa	10,83 Mpa

Fonte: Silva, 2008

2.6. Composição de borracha e E.V.A.

Foram realizados também ensaios para o uso do rejeito do calcário laminado do Cariri cearense como carga industrial na produção de diversos tipos de borracha. A Universidade Federal de Pernambuco conduziu dois deles; um para uso na fabricação de sandálias tipo havaianas e um outro para a borracha para pneus. Os estudos, ainda não finalizados, mostraram um comportamento não satisfatório em ambos os casos, aparentemente pelo excesso de CO₂ produzido durante a queima do material (Rolim Filho, 2007). No mesmo relatório da UFPE aponta-se, porém seu possível uso em borrachas de tipo esponjosas, sempre em granulometria menor que 60 malhas.

Por outro lado, a indústria IBEVA Ltda. (Figura 2), na zona industrial da região, obteve sucesso na utilização do rejeito de calcário laminado do Cariri, na fabricação de diversos tipos de EVA e borracha para sandálias de tipo havaianas (30% da carga utilizada corresponde ao calcário). A única restrição que o rejeito apresenta, de acordo com a indústria, é sua inviabilidade para a fabricação de materiais na cor branca, o que corrobora os testes do CETEM, em que o calcário laminado apresenta baixa alvura, mantendo sua cor creme característica inclusive após a queima.

2.7 Aglomerado para madeira industrial

A UFPE testou também o uso do rejeito como carga no fabrico de madeira artificial, aglomerado de bagaço de cana ou lasca de madeira, associado a um aglomerante a úmido, co a finalidade de eliminar a inflamabilidade do bagaço de cana quando submetido a alta temperatura. De acordo com Rolim Filho (2007), os testes resultaram em um material (madeira industrial) que, em um curto espaço de tempo, apresentou manchas, possivelmente derivadas do ferro das argilas contidas no calcário, o que representa um problema para esse tipo de utilização.

3. CONCLUSÕES

Nos testes realizados, até o presente, com as amostras dos dois tipos de calcários da região do Cariri foram obtidos resultados satisfatórios em relação ao seu emprego para os fins inicialmente propostos: calcário agrícola, ração animal, cerâmica (esmalte), argamassa, agregado para revestimento asfáltico e outros.

No caso específico do rejeito do calcário laminado, que representa um problema devido à grande quantidade acumulada ao longo de mais de 30 anos de exploração das pedreiras, a viabilidade de seu uso em diversas aplicações demonstrada em laboratório, já deu resultados positivos com a instalação de uma fábrica de calcário industrial, a FORTECAL, que comercializa esse calcário moído para ração animal e testa seu uso em outras indústrias da região, como é o caso da IBEVA. A própria FORTECAL tem realizado outros ensaios para ampliar sua oferta de produtos e está ampliando suas instalações, atualmente restringidas a uma usina de moagem e ensacagem, para construir uma planta de micronização e uma de produção de argamassa (Figura 3). Esta indústria, inclusive, possui um direito minerário, no município de Farias Brito, para a exploração de calcário cristalino, tendo optado, por enquanto pelo uso do rejeito do laminado, como opção mais econômica. Outros contatos estão sendo feitos para a realização de testes, importantes para uma indústria que não conta com fornecedores locais de calcário, sendo obrigada a adquiri-lo em outros estados, encarecendo seu processo produtivo.



Figura 4: Interior da fábrica IBEVA Ltda.



Figura 5: Vista externa da FORTECAL Ltda.

4. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9937/87: Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7809/83: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1963) - Agregados – Análise Granulométrica de Agregados. DNER-ME 83/63.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1964) Métodos de Ensaio – Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso (R.R.L.). DNER-ME 55/64.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1964) Métodos de Ensaio – Avaliação da durabilidade de agregados pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio. DNER-ME 89/64.
- BRASIL - Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. (1998) Métodos de Ensaio - Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”. DNER-ME 35/98
- CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (Brasil). Ministério da Ciência e Tecnologia. RT2006-041-00 – Projeto arranjo produtivo local de base mineral: Calcários da região do Cariri cearense. Caracterização Geológica e Tecnológica dos Calcários da região do Cariri cearense. Relatório Técnico do Projeto APL de acordo com o convênio FINEP/FUNCAP n. 2678/2004. Rio de Janeiro, novembro de 2006.
- CNT - Confederação Nacional do Transporte - Pesquisa rodoviária 2006: relatório gerencial – Brasília:2006. 156p.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná - Caracterização tecnológica de rochas calcárias para corretivo de solos. www.pr.gov.br/mineropar/html/rocha/carctcorretivo.html, em 18/04/2007.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná - Caracterização tecnológica de rochas calcárias para utilização em ração animal. www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/pano-ramaeanalise, em 18/04/2007
- NUTEC – Núcleo de tecnologia industrial – Relatório de ensaios de caracterização tecnológica dos calcários do Cariri cearense, elaborado pela Enga. Química Maria Valcleir inhares Lessa, Relatório Interno elaborado para o CETEM/MCT – Fortaleza, 2005.
- Ribeiro, R.C.; Guedes Correia, J. C.; Seidl, P. R.; Soares, J. B.; Vidal, F. W. H.; e Araújo, L. P, - Utilização do Calcário do Cariri Cearense como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica – Série Tecnologia Mineral – CETEM, núm. 86. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2006.
- Rolim Filho, J. L.; Silva, A. D. A – Resultados preliminares de ensaios de aplicações industriais dos rejeitos do calcário laminado do Cariri – relatório interno elaborado para o CETEM/MCT, 2007.
- Silva, A. D. A.; Rolim Filho, J. L.; Barros, M. L. S.; Lira, B. B.; Souza, J. C - aproveitamento de rejeito de calcário do cariri cearense na formulação de argamassa – Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal – RN, 15-18 novembro, 2007. CETEM/MCT; Rio de Janeiro, em fase de publicação (2008).

CAPÍTULO 23

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCÁRIO DO CARIRI CEARENSE NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA

*Achiles Dias Alves da Silva¹, José Lins Rolim Filho, Julio César de Souza,
Márcio Luiz Siqueira Campos Barros, Belarmino Barbosa Lira*

RESUMO

A região do Cariri cearense na bacia da chapada do Araripe possui um grande potencial de calcário de dois tipos: o calcário sedimentar laminado usado como piso e revestimento na construção civil, conhecido comercialmente como Pedra do Cariri, e o calcário metamórfico produzido em caieiras para fabricação da cal.

A mineração é sem dúvida um fator importante no desenvolvimento. Entretanto os processos de mineração e beneficiamento de calcário sedimentar laminado para fabricação de pisos e revestimentos, produzem uma grande quantidade de rejeito responsável por grandes danos ao meio ambiente.

Neste trabalho foram feitos ensaios de reatividade pozolânica a fim de incorporar o calcário em argamassas de cimento e areia de forma a não só reduzir custos como tornar atrativo o uso deste material por indústrias que possam utilizar o rejeito como elemento base de seus processos produtivos.

O material utilizado para este trabalho foi rejeito de calcário sedimentar do cariri cearense com granulometria de 48 mesh; cimento Portland CP V-ARI-RS e areia média. O traço utilizado para a argamassa foi de 1:3 com fator água/cimento igual a 0,60.

Nesta pesquisa, decidiu-se por realizar a adição do calcário na argamassa em duas etapas distintas: a primeira com substituição da areia pelo calcário em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso da areia, mantendo-se constante o peso do cimento e o fator água/cimento; e a segunda com a substituição do cimento pelo calcário, também em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso do cimento, mantendo-se constante o peso da areia e o fator água/pó (cimento + calcário).

Tanto na primeira como na segunda etapa foram moldados seis corpos de prova para cada traço, que foram rompidos dois a dois aos 7, 14 e 28 dias respectivamente.

Os resultados obtidos apresentaram uma relativa atividade pozolânica quando da substituição do cimento pelo calcário em proporções entre 15% e 20% do peso do cimento, com uma pequena perda de resistência a compressão comparada a do traço com 0% de adição de calcário.

¹ Mestrando, PGEMinas, Centro de Tecnologia e Geociências, achiles@ufpe.br

Conclui-se que é possível compatibilizar a preservação do meio ambiente com a produção de bens minerais, transformando rejeito de calcário em matéria prima.

INTRODUÇÃO

O Calcário sedimentar da Chapada do Araripe, situada no sul do Estado do Ceará é formado essencialmente de carbonato de cálcio e utilizado na indústria de rochas ornamentais em formas de lajotas conhecidas comercialmente como Pedra Cariri.

No método e processo de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, principalmente na região dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, verifica-se, em todas as suas etapas, uma grande quantidade de material desperdiçado, devido principalmente à utilização de tecnologias inadequadas às condições das jazidas, além da falta de acompanhamento técnico especializado. (Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. P 31).

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. 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. Após esta etapa, as placas são selecionadas manualmente e transportadas para o beneficiamento nas serrarias onde é esquadrejada em dimensões compatíveis a sua aplicação. 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 de máquinas com disco diamantado, reduz-se consideravelmente, (Vidal e Padilha, 2003)

No entanto toda a cadeia produtiva compreendendo as etapas de lavra e beneficiamento, acarreta uma perda total em torno de 70%.

A atividade alvo deste trabalho é pesquisar a possibilidade de uso dos rejeitos, de calcário, na formulação de argamassa.

Neste trabalho foram feitos ensaios de reatividade pozolânica a fim de incorporar o calcário em argamassas de cimento e areia de forma a não só reduzir custos como tornar atrativo o uso deste material por indústrias que possam utilizar o rejeito como elemento base de seus processos produtivos.

METODOLOGIA

A metodologia empregada, surgiu da disponibilidade de material, em volume e granulometria de forma a utilizar os "rejeitos" sem que para tanto, seja necessário investimentos de grandes vultos, ou seja, a não necessidade de processos de fragmentação assim como excluir o material extremamente fino (argilas) o que sairia de especificações rígidas para a argamassa então produzida a partir desta matéria prima. Desta forma foi realizada uma análise granulométrica de todo o material in natura e descartando-se o material extremamente grosseiro assim como o fino, obtendo-se assim a distribuição conforme tabela abaixo (tabela I).

Tabela I: Análise granulométrica do calcário Cariri

Classificação da amostra do Calcário		
Faixa Tiler	mm.	Peso retido(g)
48 #	0,296	5.927,00
65 #	0,209	1.744,00
100 #	0,148	626,00
150 #	0,105	299,89
200 #	0,074	355,25
325 #	0,044	327,72
		9.279,86

O material utilizado para este trabalho foi uma amostra do rejeito de calcário sedimentar laminar proveniente de Santana do Cariri, cidade e município da micro região do Cariri cearense, com granulometria de 48 mesh; cimento Portland CP V-ARI-RS (alta resistência inicial e resistente a sulfatos) e areia média. O traço utilizado para a argamassa foi de 1:3 com fator água/cimento igual a 0,60.

Nesta pesquisa, decidiu-se por realizar a adição do calcário em duas etapas distintas: a primeira com substituição da areia pelo calcário em proporções volumétricas de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, mantendo-se constante o volume de cimento e fator água/cimento, (tabela II).; e a segunda com a substituição do cimento pelo calcário, também em proporções volumétricas de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, mantendo-se constante o volume de areia e o fator água/pó (cimento + calcário), (tabela III).

Tabela II: Traço utilizado nos ensaios

O traço				
Composição	Cimento	Areia	Calcário	Água
traço 1 (0%)	300gr.	900gr.	ogr.	180ml.
traço 2 (5%)	300gr.	855gr.	45gr.	180ml.
traço 3 (10%)	300gr.	810gr.	90gr.	180ml.
traço 4 (15%)	300gr.	765gr.	135gr.	180ml.
traço 5 (20%)	300gr.	720gr.	180gr.	180ml.
traço 6 (25%)	300gr.	675gr.	225gr.	180ml.

Tabela III: Traço utilizado nos ensaios

O traço				
Composição	Cimento	Areia	Calcário	Água
traço 1 (0%)	300gr.	900gr.	ogr.	180gr.
traço 2 (5%)	285gr.	900gr.	15gr.	180gr.
traço 3 (10%)	270gr.	900gr.	30gr.	180gr.
traço 4 (15%)	255gr.	900gr.	45gr.	180gr.
traço 5 (20%)	240gr.	900gr.	60gr.	180gr.
traço 6 (25%)	225gr.	900gr.	75gr.	180gr.

Tanto na primeira como na segunda etapa, foram moldados seis corpos de prova para cada traço, que foram rompidos dois a dois aos 7, 14 e 28 dias respectivamente. Os resultados dos testes de resistência a compressão da primeira e da segunda etapa estão apresentados nas tabelas IV e V respectivamente.

Tabela IV: Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adicação	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,73 Mpa	18,99 Mpa	17,24 Mpa
2 / 5%	9,49 Mpa	14,24 Mpa	16,49 Mpa
3 / 10%	11,42 Mpa	19,24 Mpa	14,24 Mpa
4 / 15%	14,99 Mpa	18,49 Mpa	14,24 Mpa
5 / 20%	16,23 Mpa	13,74 Mpa	13,49 Mpa
6 / 25%	14,74 Mpa	13,99 Mpa	15,74 Mpa

Tabela V: Resistência à compressão dos ensaios

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adicação	7 dias	14 dias	28 dias
1 / 0%	15,62 Mpa	15,44 Mpa	19,94 Mpa
2 / 5%	12,77 Mpa	13,64 Mpa	13,57 Mpa
3 / 10%	10,28 Mpa	13,74 Mpa	13,52 Mpa
4 / 15%	13,27 Mpa	13,19 Mpa	15,37 Mpa
5 / 20%	8,82 Mpa	10,49 Mpa	14,54 Mpa
6 / 25%	7,50 Mpa	10,49 Mpa	10,83 Mpa

RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentaram uma relativa atividade pozolânica quando da substituição do cimento pelo calcário (2ª etapa) em proporções entre 15% e 20% com uma pequena perda de resistência a compressão comparada a do traço com 0% de adição de calcário.

É interessante observar a perda de resistência a partir do sétimo dia na primeira etapa de ensaios, o que denota uma perda de qualidade com a simples adição de calcário em substituição a areia, já na segunda etapa desta pesquisa observa-se que apenas nos testes 2 e 3 tal fenômeno foi observado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste trabalho é possível concluir que é viável compatibilizar a preservação do meio ambiente com a produção de bens minerais, transformando rejeito de calcário em matéria prima na industria de argamassas, dando destino e incentivando para que empreendedores venham a reduzir danos ambientais oriundos da extração da pedra do Cariri .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

LIMAVERDE, J. A; SOUZA, E. T.; GOMES, F. A. L. - A Indústria de Calcários e Dolomitos no Nordeste. Fortaleza, 1987.

CALCÁRIOS DE PERNAMBUCO – Rocha para fins Industriais. Governo do Estado de Pernambuco Secretaria de Industria, Comercio e Minas. Minérios de Pernambuco S/A. Recife, Janeiro de 1987 p.

Mont`Alverne, A. A. F. - Estudo dos Calcários na Plataforma Continental de Pernambuco – Recife, 1982 p.

Luz, B; Lins, A. F. - Rochas & Minerais Industriais – Usos E Especificações. CETEM-MCT Rio de Janeiro, 2005 p 327 - 350 .

Vital; F.W.H et al - Aspectos Geológicos da Bacia do Araripe e do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri – Ceara. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, Novembro de 2005) p 31-36.

CAPÍTULO 24

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE GERADOS NO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro¹; Julio César Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl

RESUMO

O corte e o beneficiamento de rochas ornamentais gera toneladas de rejeitos, que acabam assoreando rios próximos às regiões das pedreiras. Devido a isto, Instituições Ambientais vem atuando maciçamente junto a essas pedreiras, buscando uma maneira de diminuir o impacto ambiental. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de utilização de rejeitos minerais graníticos, oriundos de uma pedreira da Bahia, como agregado mineral em misturas asfálticas. Para tal, realizou-se uma britagem, a fim de se obter um conjunto de agregados nos seguintes tamanhos: brita 0, brita 1 e pó de pedra. Posteriormente, realizou-se ensaios de abrasão Los Angeles, índice de forma, adesividade de ligante à agregado graúdo, angularidade de agregado miúdo, densidades real e aparente e distribuição granulométrica. Por fim, serão realizados ensaios de resistência mecânica (LOTTMAN) com misturas asfálticas utilizando-se tais rejeitos minerais e um ligante. Pôde-se verificar o enquadramento do rejeito segundo todas as normas preconizadas para agregados, observando-se uma abrasão Los Angeles, em torno de 20%, um índice de forma nem alongada nem chata, em torno de 58%, uma boa adesividade ao ligante, angularidade em torno de 20%, valores de densidade, em torno de 2,5 Kg/m³, além de um enquadramento na faixa C de distribuição granulométrica, segundo normas do antigo DNER. Após a verificação do enquadramento de tal rejeito como agregado mineral para pavimentação estão sendo preparados corpos de prova de misturas asfálticas para realização de ensaios LOTTMAN, por meio da verificação do teor ótimo de ligante. Dessa forma, se poderá verificar a resistência mecânica da mistura asfáltica constituída por tais rejeitos minerais. Porém, pode-se concluir, preliminarmente, que o rejeito enquadrou-se segundo as normas do DNIT para agregados minerais, podendo ser um novo insumo para o setor de pavimentação, bem como diminuindo o impacto ambiental causado pelas pedreiras e serrarias.

Palavras-Chave: agregados minerais, asfalto, mistura asfáltica.

¹ Engenheiro Químico, Ph.D. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

ABSTRACT

The cut and the improvement of ornamental rocks generates tons of rejects, that finish sand rivers to the areas of the quarries. Due to this, Environmental Institutions are acting massively close to those quarries, looking for a way to reduce the environmental impact. Based on this, the objective of this work was it of verifying the possibility of use of mineral rejects, originating from of a quarry of Bahia State, as mineral aggregate in asphalt mixture. For such, it took place a britagem, in order to if to obtain a group of aggregate in the following sizes: breaks 0, breaks 1 and stone powder. Later, it took place rehearsals of Los Angeles abrasion, form index, asphalt adhesiveness to joined great, angularity of small aggregate, real and apparent densities and granulometric distribution. Finally, rehearsals of mechanical resistance will be accomplished (LOTTMAN) with asphalt mixture being used such mineral rejects and a asphalt. The framing could be verified of the reject second all of the norms extolled for aggregates, being observed an Los Angeles abrasion, in throne of 20%, a form index nor prolonged nor annoying, around 58%, a good adhesiveness to the asphalt, angularity in throne of 20%, density values, in throne of 2,5 Kg/m³, besides a framing in the strip C of granulometric distribution, according to norms of DNIT. After the verification of the framing of such reject as aggregate for paving bodies of proof of asphaltic mixtures are being prepared for accomplishment of rehearsals LOTTMAN, through the verification of the great tenor of asphalt. In that way, she can verify the mechanical resistance of the asphalt mixture constituted by such mineral rejects. However, it can be ended, that the reject framed it her according to the norms of DNIT for minerals aggregate, could be a new input for the paving section, as well as reducing the environmental impact caused by the quarries and sawmills.

Key Words: minerals aggregate, asphalt, asphalt mixture.

1. INTRODUÇÃO

Alguns países, como o Brasil, que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a extração de rochas ornamentais encontra-se em acelerado desenvolvimento enfrentam sérios problemas com os rejeitos provenientes da extração e beneficiamento das peças de granito. Esses rejeitos contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população [1].

A retirada de blocos de granito para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerados pela quebra das peças durante o corte que se acumulam no entorno das pedreiras e/ou serrarias, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de gralha, de cal e de rocha moída (aluminossilicatos, feldspato e quartzo), que após o processo são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo alguns casos canalizada diretamente para os rios e lagos [2].

Os problemas mencionados anteriormente vem despertando a atenção das autoridades ambientais, que vem multando e fechando serrarias e pedreiras que lançam estes resíduos no meio ambiente. A solução que as pedreiras e serrarias tiveram foi a retenção e agregação de valor econômico para seus resíduos, a fim de atender as exigências dos órgãos ambientais e poderem continuar funcionando [1].

A fina granulometria, composição pré-definida (granito moído, cal e granalha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos dos rejeitos gerados impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores da indústria, como na produção de argamassas, cimento, tijolos e telhas [1].

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua mistura, cerca de 95% de agregados minerais (geralmente britas de basalto) e 5% de cimentos asfálticos de petróleo (CAP). O CAP constitui a fração pesada da destilação do petróleo sendo classificado como um material termosensível utilizado principalmente em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis [3].

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Estes, por sua vez, são responsáveis por suportar o peso do tráfego e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento.

Dentre os agregados minerais mais utilizados podemos citar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o *filer*. Por representarem mais de 95% da composição do asfalto, os agregados minerais devem ser extraídos da natureza e beneficiados, sendo os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido [4].

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização de um rejeito de pedreira de granito como agregado mineral para pavimentação asfáltica.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Origem do Rejeito mineral

Utilizou-se como agregado mineral um rejeito oriundo da região de Medeiros Neto, localizada no sul do Estado da Bahia.

2.2 Origem do ligante

Utilizou-se como ligante um CAP-20, oriundo de uma refinaria brasileira.

2.3 Avaliação do Rejeito

2.3.1 Análises Química e Mineralógica

A análise química e mineralógica do conjunto de agregados minerais foi realizada pela Coordenação de análises química e mineralógica do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

2.3.2 Determinação do Índice de Forma

Para determinação da forma dos agregados graúdos utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791[5], utilizada pelo DNIT.

2.3.3 Abrasão Los Angeles

O ensaio foi realizado segundo a norma ME 035/98, desenvolvida pelo DNER [6].

2.3.4 Distribuição Granulométrica

O método foi baseado na metodologia descrita na norma DNER - ME 083/98 [7].

2.3.5 Densidade

Para determinação das densidades real e aparente de agregado graúdo utilizou-se as normas ME 081/94 e ME 084/94 preconizada pelo DNER [8].

2.3.6 Angularidade

A forma da partícula do agregado fino pode ser qualificado pelo uso da norma ASTM C 1252 "teor de vazios não compactados de agregado fino". Este ensaio é recomendado pelo programa SHRP no sistema de projeto de mistura *SUPERPAVE*. Existem três métodos para realização deste ensaio (A, B ou C) [9]. O método C, que usa a fração do agregado fino menor que 4,75 mm (peneira nº 4), foi o utilizado neste trabalho.

Um cilindro calibrado com 100 mL foi preenchido com agregado fino de graduação pré definida por meio de fluxo através de um funil colocado a uma altura fixada. O agregado fino foi solto e sua massa determinada por pesagem.

O teor de vazios foi calculado como a diferença entre o volume do cilindro e o volume absoluto do agregado fino coletado no cilindro. Duas medições foram feitas para cada amostra e a média foi utilizada.

Amostras testadas pelo método C podem ser úteis na seleção de proporções de componentes usados em uma variedade de misturas. Em geral, teores de vazios altos sugerem que o material possa ser melhorado por acréscimos adicionais de finos.

2.4 Avaliação da Interação Asfalto/Agregado

2.4.1 Ensaio de Adesividade

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94. Este ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-brita é imersa em água destilada a 40°C durante 72 horas. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película.

2.4.2 Ensaio de Adsorção

O processo de interação CAP/agregados minerais foi realizado utilizando-se maciçamente o ensaio descrito em PI 012384, desenvolvido por nosso grupo de pesquisas e com apoio do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Dessa forma, pretende-se consolidar o ensaio desenvolvido, utilizando-se uma série de agregados minerais com análises químicas diferenciadas e comparar os resultados obtidos com a resistência mecânica de cada asfalto produzido com os respectivos agregados minerais e CAPs.

A metodologia conta primeiramente com a elaboração de uma curva de calibração. Para tal, foi utilizado uma solução de CAP, na concentração 1,0% p/v, de onde se retiraram alíquotas para preparo de soluções com as seguintes concentrações: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L e 0,005 mg/L em tolueno. Essas soluções foram analisadas em um espectrofotômetro de Ultravioleta – visível, marca LAMOTTE, modelo SmartSpectro/spectrol, em comprimento de onda fixo em 402

nm [10], obtendo-se, assim, a curva de calibração (concentração inicial versus absorvância), para cada CAP e seus respectivos constituintes. A partir daí, foram obtidas as equações de reta que são empregadas nos ensaios de adsorção com os agregados minerais, a fim de se obter os valores de adsorção final.

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de agregado mineral, britado e peneirado (diâmetro de partícula < 0,149 mm), respeitando-se as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNER (DNER ME 083/98), sendo colocados em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L; 0,0015 mg/L; 0,0025 mg/L; 0,005 mg/L; 0,0075 mg/L; 0,01 mg/L; 0,0125 mg/L; 0,015 mg/L e 0,02 mg/L. A seguir, os tubos foram agitados em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labortechnik, modelo HS501 digital, durante quatro horas e 200 r.p.m.. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m., em centrífuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

Com isso, pode-se obter os valores de absorvância após a adsorção com o agregado mineral. De posse destes valores e de cada equação de reta, pode-se obter os valores das concentrações finais e, conseqüentemente, das adsorções que o CAP teve com o agregado mineral.

2.5 Resistência Mecânica em Misturas Asfálticas (LOTTMAN)

Para avaliação da resistência mecânica utilizou-se os 3 corpos de prova pré-confeccionados. O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência à tração por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89 [11], simulando a ação do intemperismo nos corpos de prova, como descrito a seguir: Submeteu-se os corpos de prova imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio por um período de cinco a dez minutos, para aumento do grau de saturação. O corpo de prova saturado foi revestido com filme plástico e colocado em sacos plásticos contendo aproximadamente 10 mL de água.

As amostras foram resfriadas à temperatura de $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 16 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas da refrigeração, sendo uma analisada imediatamente quanto a resistência à tração por compressão diametral.

A outra amostra, após o período de congelamento, foi imersa em banho à temperatura de $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Posteriormente, a amostra foi removida para outro banho com temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 ± 1 hora e então posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O resultado do ensaio é obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como apresentado na equação: Razão de Resistência (%) = $(RC/RSC) \cdot 100$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do Rejeito

3.1.1 Análise Mineralógica

A tabela 3.1 apresenta o resultado da análise mineralógica realizada com o rejeito onde se pode verificar uma alta concentração de feldspatos, chegando-se a valores em torno de 64 %, e quartzo em torno de 34 %. A fins de comparação, foram realizados ensaios com um basalto, amplamente utilizado no processo de pavimentação, onde se pode verificar a grande semelhança entre tais agregados e a possível utilização deste rejeito no processo de pavimentação.

Tabela 3.1: Composição Mineralógica dos Agregados Minerais.

Minerais (%)	Basalto	Rejeito
Feldspato	64	63,6
Quartzo	2	34,4
Granada	--	2
Piroxênios	30	--

3.1.2 Análise Química

Os resultados obtidos por difração de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na tabela 3.2. Pode-se verificar que o basalto e o rejeito apresentam resultados muito semelhantes, apresentando um alto teor de sílica e alumina, em torno de 70 e 15%, respectivamente, com relações Si/Al em torno de 4,5, valor este compatível com a literatura para estes materiais [12].

Tabela 3.2: Análise Química dos Agregados Minerais.

Composição (%)	Rejeito	Basalto
SiO ₂	70,5	72,40
Al ₂ O ₃	18	16,54
K ₂ O	5,6	6,69
Na ₂ O	2,7	3,08
Fe ₂ O ₃	1,4	2,49
CaO	1,2	7,51
TiO ₂	0,03	3,17
MgO	0,1	2,91

3.1.3 Índice de Forma

Para uso em misturas asfálticas, as partículas de agregados devem ser mais cúbicas que planas (chatas), finas ou alongadas. Em misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior intertravamento e atrito interno, resultando, conseqüentemente, uma maior estabilidade mecânica que as partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contém partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, têm uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se obter a densidade requerida.

Esta facilidade de compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de compactar durante a construção podem continuar a apresentar problemas sob ação do tráfego, levando à deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico [13].

No que diz respeito ao rejeito em estudo, obteve-se um valor em torno de 58% de forma nem alongada nem achatada, 18% alongada, 10% achatada e 14% ambas.

3.1.4 Abrasão Los Angeles

O valor máximo de abrasão Los Angeles permitido para uso em misturas asfálticas é limitado pelas especificações pertinentes de 40% para algumas agências americanas a 60% para outras [13] e [14]. No que diz respeito ao rejeito, obteve-se um valor de 22%, classificando tal rejeito como adequado para pavimentação.

3.1.5 Distribuição Granulométrica

Os resultados da distribuição granulométrica do rejeito encontra-se ilustrado na tabela 3.3, onde pode-se observar a adequação do mesmo à faixa C, segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 083/98).

Tabela 3.3: Distribuição granulométrica do rejeito.

Abertura das peneiras (mm)	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
+1/2	45	--	--
-1/2" + 3/8"	46,2	--	--
-3/8 + 4"	7,9	1,5	--
-2,5 + 2	0,4	86,3	--
-2 + 1	--	1,2	--
-1 + 0,5	--	--	54,8
-0,5 + 0,297	--	0,1	12,1
-0,297 + 0,177	--	0,1	10,1
-0,177 + 0,149	--	0,2	14
-0,149 + 0,074	--	0,4	5,8
-0,074	0,52	0,4	2,2
Total	100 %	100%	100%

3.1.6 Densidade

Os resultados das densidades real e aparente do rejeito foram respectivamente 2,65 e 2,57 kg/m³. O valor médio para este tipo de rochas é da ordem de 2,65 g/mL, isto porque os constituintes minerais principais dessas rochas, feldspato e quartzo, apresentam valores de densidade real em torno de 2,65 e 2,70 g/mL [15].

3.2 Avaliação da interação asfalto/brita

3.2.1 Ensaio de adesividade

Com relação ao resultado de adesividade, pôde-se verificar o não deslocamento total da película do CAP à superfície do rejeito.

3.2 Ensaio de adsorção

No que diz respeito a adsorção físico-química, pôde-se verificar uma adsorção máxima, em torno de 3,6 mg/g para o CAP na superfície do rejeito. Tal fato corrobora os resultados anteriores, evidenciando que os agregados minerais compostos por feldspato e quartzo são os responsáveis pela adsorção com o CAP.

3.3 Resistência mecânica em misturas asfálticas (LOTTMAN)

Com relação aos resultados de resistência mecânica da mistura asfáltica, pôde-se verificar um valor superior a 80% indicando a adequação do rejeito às normas exigidas pelo DNIT para utilização em pavimentação asfáltica.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o rejeito oriundo da pedreira da região de Medeiros Neto – BA pode ser utilizado como agregado mineral para pavimentação asfáltica, sem que haja a necessidade de utilização de melhoradores de adesividade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.
- [2] FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.
- FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, Carreteras 103, Septiembre, 1999.
- [3] ELPHINGSTONE, G. M., Adhesion and cohesion in asphalt – aggregate systems – Dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.
- [4] RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto, Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.

- [5] ASTM D 4791 - Partículas chatas e alongadas no agregado graúdo.
- [6] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, p. 6, 1998.
- [7] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, p. 3, 1998.
- [8] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- [9] NASCIMENTO, R. R., “Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre”, Dissertação de Mestrado, COPPE- Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- [10] GONZALES, G. e MIDDEA, A., “The properties of the calcite-solution interface in the presence of adsorbed resins or asphaltenes”, *Colloids and Surfaces*, vol. 33, pp. 217-229, 1988.
- [11] AASHTO T 283/89 – LOTTMAN. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, normas ASTM.
- [12] DANA, J. D., Manual de Mineralogia, São Paulo: EDUSP, vols. 1 e 2, 1970.
- [13] ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R.; LEE D. Y. e KENNEDY T. W., “Hot mix asphalt materials, mixture design and construction”, in: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.
- [14] MARQUES, G. L. O., “Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica”, in: I Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- [15] KIEHL, J. E., Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 264, 1979.

CAPÍTULO 25

UTILIZAÇÃO DE TRAMAS PARA O PROJETO DE PAINÉIS, PISOS E FACHADAS COM SOBRAS DE MÁRMORES E GRANITOS

Oberdan José Santana¹, Julio César de Souza

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de indicar uma metodologia de projeto para o reaproveitamento de sobras e minimizar as perdas provenientes na produção das chapas de granito e mármore. Nas serrarias podemos encontrar pilhas e mais pilhas de rejeitos de diversos granitos e mármore.

Normalmente as indústrias confeccionam ladrilhos de tamanhos padrões de 47,5 x 47,5 cm e 40 x 40 cm (Vidal, 2003), infelizmente as chapas variam de 1,6 m. a 3,6 m. com 0,025 m. de espessura, esses valores entre ladrilhos e chapas não casam. Por exemplo, uma chapa de 1,6 m. de largura por 2,5 m. de comprimento para um ladrilho de 40 x 40 cm a princípio a largura produziria quatro tiras de 0,4 x 2,5 m., entretanto as bordas não estão aparelhadas e a operação de aparelhá-las reduzirá fatalmente a largura. A confecção de quatro tiras reduz para 3 tiras, todavia a sobra que poderia ser destinada para outros fins, geralmente irá acabar na pilha de rejeitos.

Outro fator que contribui para o aumento das perdas são as fissuras existentes nas chapas em alguns casos provocando quebras das peças. Esse material será jogado fora, em muitos casos locais não apropriados, que no futuro poderá ocasionar problema com o layout da empresa e mesmo com o meio ambiente.

Alguns profissionais da área e áreas afins já apresentaram trabalhos voltados ao aproveitamento das chapas fissuradas ou quebradas e dos rejeitos presentes nas barragens de lama localizadas no pátio das serrarias.

Entre os anos de 1920 a 1969, o arquiteto Holandês Maurits Cornelis Escher produziu várias gravuras, xilogravuras e litogravuras, onde o tema central dos seus trabalhos era a repetição, continuidade e o reflexo (ver através de um espelho). No Brasil o arquiteto pernambucano Vidal Maria Tavares Pessoa de Melo criou dois trapézios confeccionados em cerâmica que colocados em posições harmoniosas com diferentes cores, produzem pisos com desenhos diversificados. Este trabalho foi registrado no livro chamado "TRAMAS" (1989).

Usando a repetição, a continuidade de Escher num módulo criado por um polígono (triângulo, quadrado, retângulo, trapézio, losango, etc.) com as sobras das serrarias no corte do granito e mármore, podemos produzir pisos, painéis e fachadas com arte e beleza nas cores existentes

¹ Mestrando UFPE. E-mail: oberdansantana@oi.com.br

no mercado das rochas ornamentais, sem perder a qualidade e o efeito estético que essas rochas nos fornecem.

INTRODUÇÃO

Estamos passando por um período que se fala muito em re-aproveitamento e re-utilização de sobras e resíduos industriais, entre os quais se destacam: lixo; água, metralha, plásticos, vidros, etc. Toda a tecnologia desenvolvida para reaproveitamento de resíduos tem um custo agora, mas no futuro esse custo será bem apreciado pelas novas gerações.

O resíduo das serrarias e marmorarias de granito e mármore também faz parte deste conjunto. A lama proveniente de teares na etapa da serragem do granito e mármore em muitos casos é jogada diretamente na rede pluvial de água, dessa forma tecnologias têm sido desenvolvidas e aperfeiçoadas para o aproveitamento desse material: os engenheiros I. F. Pontes e A. Stellin Júnior apresentaram um trabalho no Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste intitulado "*Valorização dos resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil*", outro trabalho que também foi apresentado no Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, pelos professores Washington Moura, Jardel Gonçalves e Mônica Lima, intitulado "*Utilização de resíduo de corte de mármore e granito para a confecção de blocos pré-moldados*", foi também apresentado e mostra a preocupação do setor em minimizar a geração de resíduos.

A "*Utilização de tramas para o projeto de painéis, pisos e fachadas com sobras de mármore e granitos*", é mais um projeto que será somado aos demais com o objetivo é de minimizar a geração de resíduos sólidos e conseqüentemente o impacto ambiental.

As placas quebradas no momento do corte, do transporte ou partes menores que não vão ser mais utilizadas, ocupam espaço no pátio das serrarias e em muitos casos não são re-aproveitados. Entretanto esse rejeito pode ser transformado em belíssimos painéis ou até mesmo pisos ou revestimento de paredes com imagens estilizadas na composição de dois ou mais granitos. Os painéis e pisos apresentados neste trabalho são virtuais e exemplificam as possibilidades de aproveitamento integral de sobras de serrarias e marmorarias.

DESENVOLVIMENTO

Na pedreira de rocha ornamental os blocos são retirados de forma a obter-se o maior aproveitamento do bloco em escala industrial, conforme as medidas dos teares para o processo de desdobramento das chapas. Alguns blocos têm micro-fissuras que fatalmente inviabilizarão o aproveitamento de parte das chapas como mostra a figura 01.

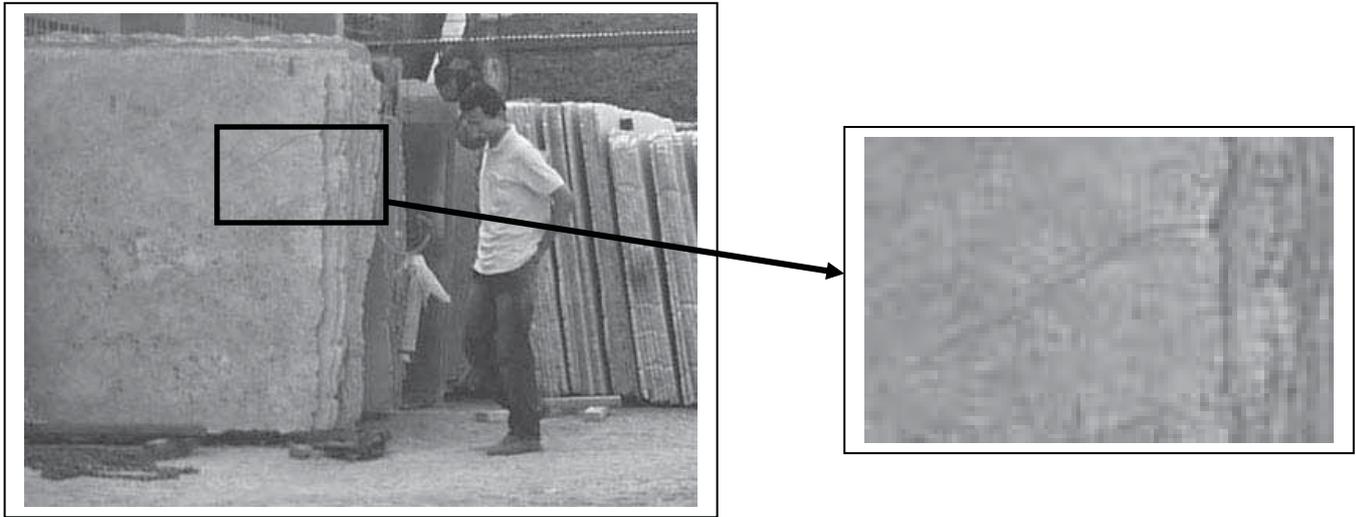


Figura 01: Micro-fissura no bloco

Outro fator que também produz perda após a chapa estar pronta é o corte do ladrilho de mesmo tamanho, figura 02. Nesse processo geralmente a área que resta próxima ao final da chapa não é mais suficiente para que se possa cortar outro ladrilho do mesmo tamanho, gerando uma sobra de material. Essa área que sobra entretanto pode ter outras finalidades: ser aproveitada para obtenção de pequenos fragmentos através de britagem e classificação, ser utilizada como agregado para a confecção de blocos pré-moldados ou conforme o tamanho da sobra poderá ser aproveitada para a confecção do módulo conforme metodologia deste trabalho.

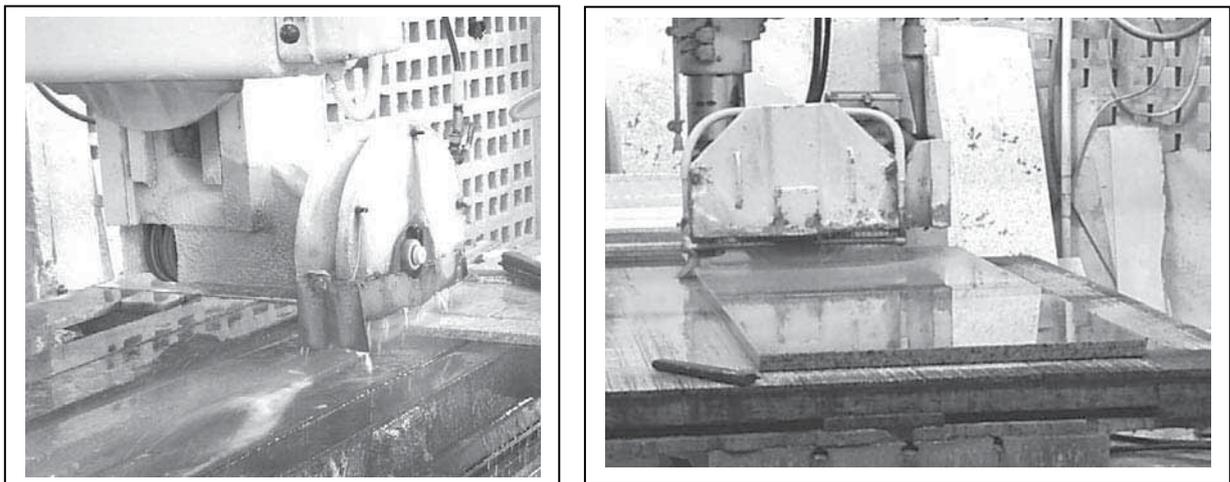


Figura 02: Cortes das chapas

Com as sobras de dois ou mais tipos de rocha na produção das placas pode-se revestir pisos, paredes e criar painéis belíssimos. O aproveitamento do rejeito parte na criação de um mó-

dulo, figura geométrica com possibilidade de se encaixar e não deixar espaços vazios. As figuras geométricas utilizadas para o desenvolvimento experimental do presente de trabalho são: triângulos, quadrados, retângulos, trapézios e losangos.

O triângulo é considerado como figura geométrica universal conforme a classificação: equilátero, retângulo e isóscele. Eles podem compor: quadrados, retângulos, trapézios e losangos ou outros polígonos como pentágono, hexágono, etc. A figura 03 mostra a classificação.

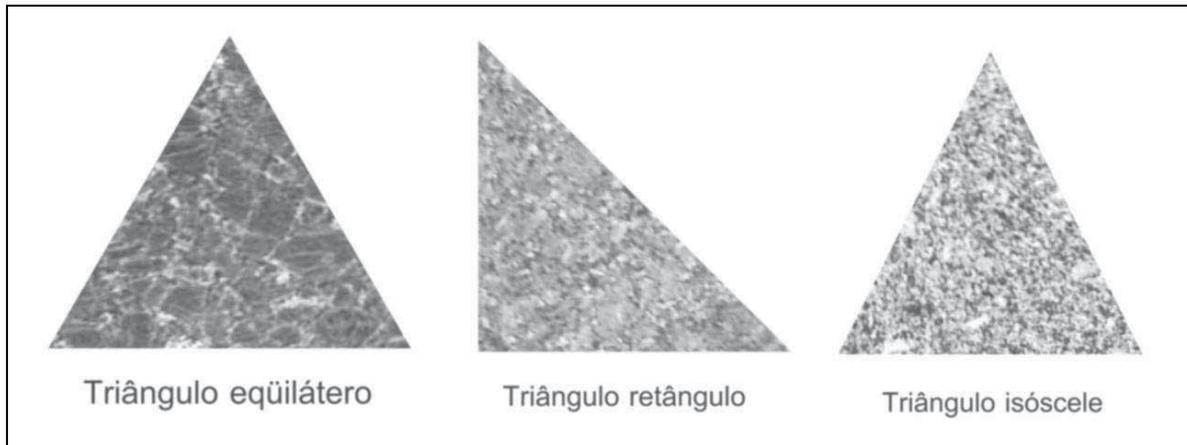


Figura 03: Classificação dos triângulos

A composição dos módulos corresponde à distribuição das figuras básicas para obter outros polígonos, como mostra a figura 04.

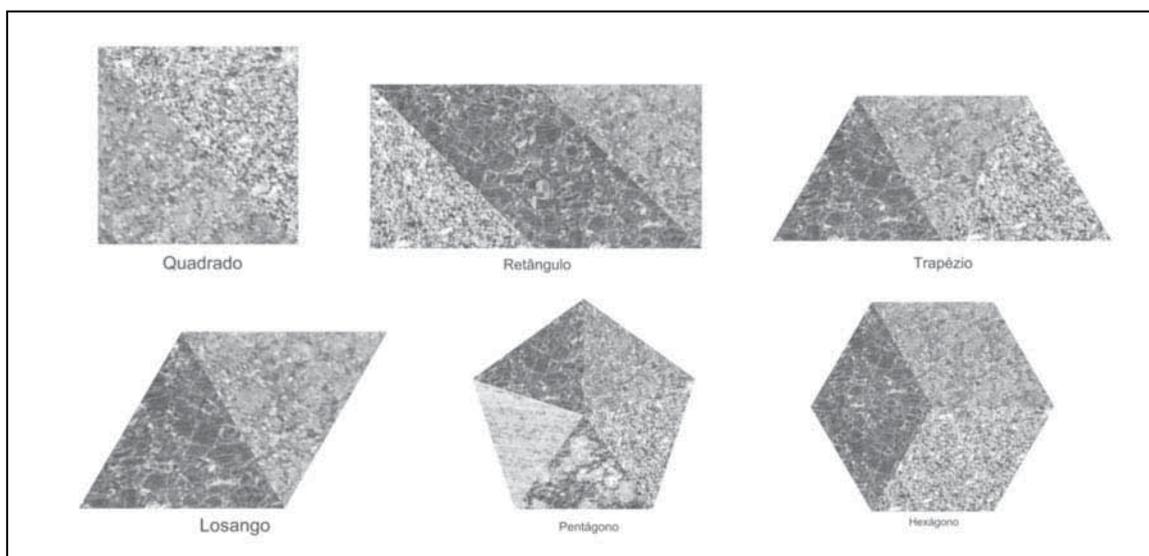


Figura 04: Composição de triângulos formando novos polígonos

Uma nova composição pode se desenvolver através da composição existente ou das figuras individuais, essa nova composição é considerada como harmoniosa. Na composição harmoniosa vamos encontrar os pisos, os painéis e revestimento de fachadas com as figuras já mencionadas ou outras figuras criadas.

A figura 05 mostra um modelo para piso usando três padrões de granito, as peças são triângulos retângulos com os catetos medindo 0,1 x 0,1 m e 0,02 m de espessura. O modelo corresponde a 32,49 m² de área cujas medidas laterais são 5,7 x 5,7 m.

As figuras 06 e 07 mostram o modelo "Pétalas" em perspectiva cônica e com aproximação para mostrar o padrão e as texturas dos granitos escolhidos.

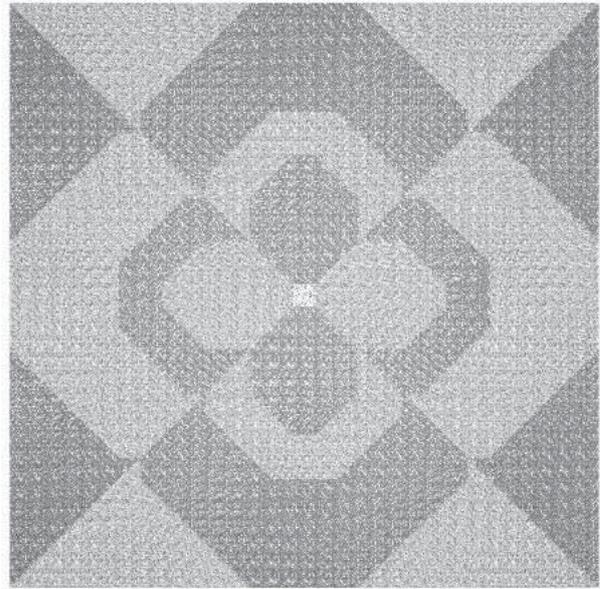


Figura 05: Modelo para piso "Pétalas"

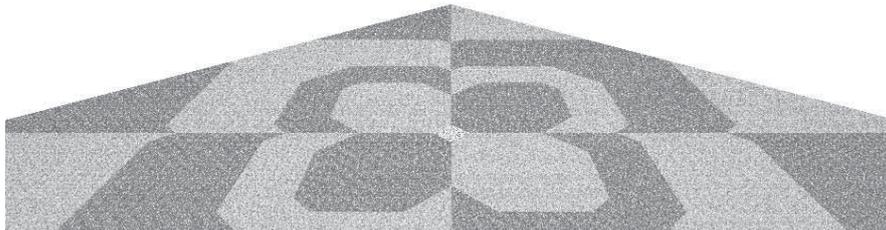


Figura 06: Perspectiva cônica

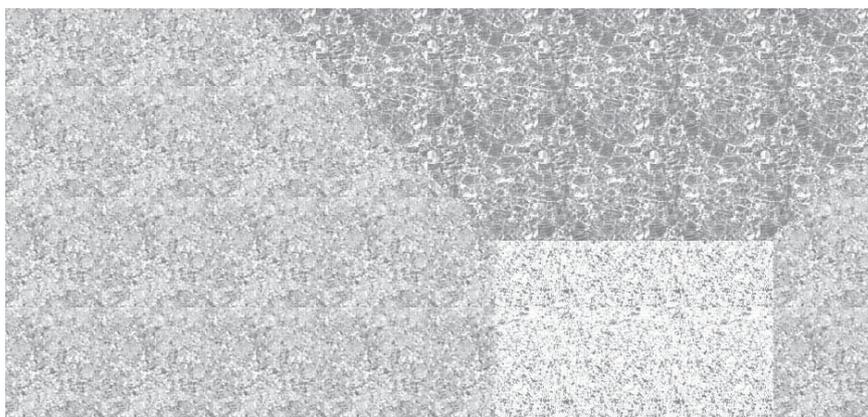


Figura 07: Padrão e textura dos granitos

Uma outra composição harmoniosa na forma de painel é chamada de "Cavalos Marinhos" sendo composta de triângulos equiláteros de lado medindo 0,1 m, também trabalhado com três tipos de granito com textura e padrão diferentes. As medidas laterais do painel são de 2,3 x 3,5 m. A figura 8 mostra a distribuição dos triângulos.

A figura 09 mostra o painel em toda sua extensão e a figura 10 mostra os granitos escolhidos.

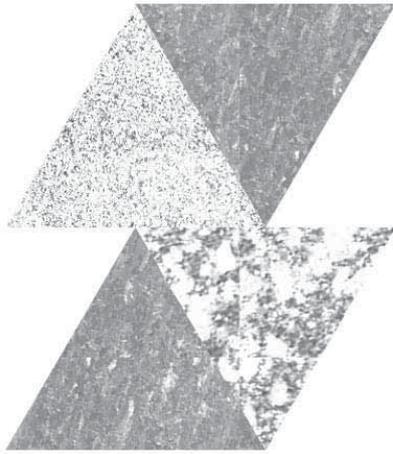


Figura 08: Distribuição dos triângulos de rochas

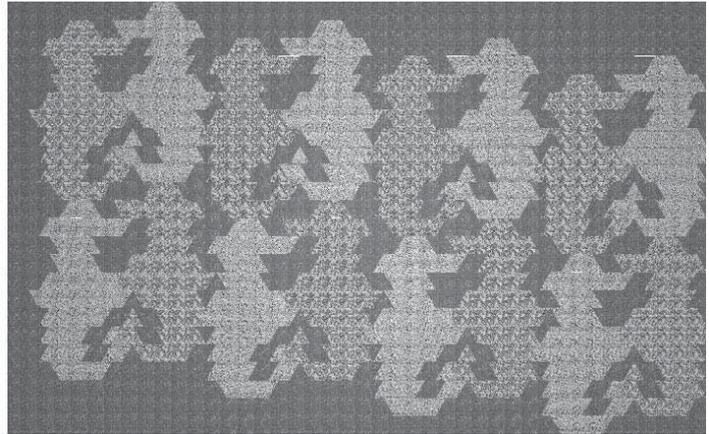


Figura 09: Mosaico "Cavalos Marinhos"

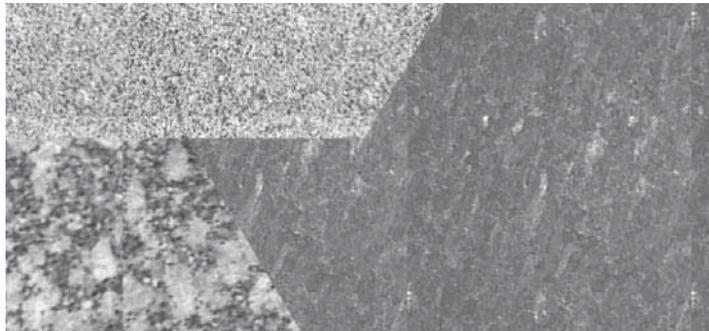


Figura 10: Padrão e textura dos granitos

CONCLUSÕES

Nos modelos apresentados neste trabalho houve a repetição e continuidade do módulo. As texturas e cores produzem formas diversificadas nas composições, assim há uma variedade de modelos que poderão ser explorados para a utilização de diversos tipos de materiais ornamentais.

A criação e produção das peças deverão seguir um padrão e uma ordem, dessa forma facilita-se a montagem no local da obra, com acompanhamento do criador, reduzindo o custo de aplicação e valorizando os ambientes construídos.

A aplicação dos princípios tecnológicos apresentados nesse trabalho na íntegra reduzirá as pilhas de rejeitos nos pátios das serrarias, minimizará o impacto ambiental e gerará novos empregos. Entretanto, se a própria serraria ou empresa construtora optarem pela produção de peças em chapas perfeitas, esta metodologia não terá efeito na redução das pilhas e nem diminuirá a agressão ambiental.

O efeito negativo pela opção de trabalho em chapas perfeitas é o aumento de custo em espaço, dinheiro e tempo. Espaço: o local reservado para o rejeito aumentará assustadoramente; dinheiro gasto na serragem do bloco e polimento das placas; e tempo: as peças serão cortadas várias vezes para obter a forma desejada em cada composição harmoniosa, esta operação está ligada com o espaço e com o aumento de custo dos módulos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FONSECA, M. V. "A Reciclagem de Rejeitos Sólidos: Desenvolvimento em Escala de Laboratório, de Materiais Vítreos a Partir de Xisto Recortado". São Paulo, 1990. 224 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 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/PM1085).
- 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.
- ERNST, B. "O espelho mágico de M. C. ESCHER", Benedikt Taschen Verlag Berlin GmbH, Berlin 1991, Germany.
- NAVARRO, R. F. "Materiais e Ambiente". Editora Universitária/UFPB, João Pessoa, 2001.
- MELO, V. M. T. P. "Tramas", Editora Premio, São Paulo, SP 1989.

CAPÍTULO 26

RESULTADOS DO PROJETO DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE GRANITOS DA SERRA DA MERUOCA - CE

Irani Clezar Mattos¹, Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira, Raquel Argonz, José Araújo Nogueira Neto

RESUMO

Este trabalho apresenta métodos de aproveitamento de resíduos de duas jazidas de granito (Rain Forest e Juparaná Gold) no Maciço Meruoca (SW do Ceará). A metodologia seguiu duas linhas principais: (1) Aproveitamento do rejeito de blocos em materiais para construção civil, em duas comunidades. (2) Aproveitamento do rejeito de pó visando determinar a viabilidade de sua utilização como matéria prima de elevado valor na indústria cerâmica. Ocorreu a capacitação profissional das comunidades e a de Santo Amaro comercializou pedras para a construção civil. No aproveitamento do pó, o granito Rain Forest se comporta melhor durante o processo de prensagem e o Juparaná Gold tem maior dureza quando sinterizado. Embora a sinterização a 1250° C indique 0% de absorção d'água nas peças, esta temperatura gera deformidades, sendo recomendável fabricar peças cerâmicas a 1150° C. Os resíduos de pó apresentaram viabilidade de aproveitamento na fabricação de cerâmicas especiais, com características refratárias, substituindo argilas de elevado valor de mercado.

INTRODUÇÃO

Na Mineração Agreste, empresa parceira do projeto, foram selecionadas duas jazidas como áreas-alvo: o granito Rain Forest, no município de Meruoca e o granito Juparaná Gold em Massapé. A comunidade Mato Grosso localiza-se a 800 metros de distância da jazida do granito Rain Forest, e as comunidades Riacho Fundo e Santo Amaro situam-se à aproximadamente 4 km da área de extração do granito Juparaná Gold. Os integrantes destas comunidades pertencem às associações de moradores e trabalham com agricultura de subsistência, não possuíam emprego e nem qualificação.

O presente projeto buscou reaproveitar e reciclar a imensa pilha de rejeitos das jazidas de granito na região do Maciço da Meruoca; por meio de treinamentos com a comunidade local (para corte, beneficiamento e comercialização do rejeito), de parcerias com empresa de extração e através do apoio das prefeituras. O projeto visou também desenvolver uma metodologia específica de transformação do resíduo de pó de granito em matéria prima de mais elevado potencial de uso nas indústrias, de acordo com suas características químicas e

¹ Departamento de Geologia (DEGEO); Centro de Ciências; Universidade Federal do Ceará, E-mail: irani.mattos@ufc.br

físico-mecânicas. O projeto vislumbrou com as ações de reaproveitamento de rejeitos, a preservação dos recursos hídricos.

MÉTODOS

A metodologia foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas:

Etapa Inicial

- Levantamento bibliográfico, interpretação de fotos aéreas e integração de mapas geológicos do setor estudado. Trabalho de Campo - definição do tamanho e local da área para as atividades de reciclagem e seleção dos tipos de materiais e coleta de amostras - Preparação das amostras (elaboração de lâminas petrográficas, confecção de cubos e tabletes para ensaios físico-mecânicos, moagem de granito para análise do pó e execução dos corpos de prova). Contatos e reuniões com os prefeitos e as comunidades para exposição do projeto e agendamento das atividades de qualificação

Etapa Laboratorial

Análise Petrográfica, análises de composição química, Ensaios Tecnológicos:(Índices Físicos, Desgaste Abrasivo Amsler, Resistência ao Impacto de Corpo Duro, Resistência à Compressão Uniaxial, Resistência à Flexão -Método Três Pontos); Caracterização dos Pós (Moagem, Peneiramento - estudo dos Pós por MEV; Produção de Peças, Sinterização (durante 1 hora às temperaturas de 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1250 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min), ensaios de Dureza

- Para o aproveitamento do rejeito de blocos em materiais para construção civil, o senai realizou cursos de qualificação, intitulado: "Qualificação em fabricação de pedras para Construção" Com carga horária: 36 horas em cada comunidade (Comunidade de Mato Grosso/ Município de Meruoca e Comunidade de Riacho Fundo/Santo amaro Município de Massapê/CE): O conteúdo do curso: Noções de Cidadania, Qualidade, Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Cooperativismo e Associativismo e Aula Prática – Confeccionar peças de granito (figura 1). A empresa Mineração Agreste cedeu o espaço e o material para os trabalhos, além de transporte de amostras para os laboratórios. A as prefeituras apoiaram através de palestras e disposição de veículos para transporte dos produtos manufaturados.

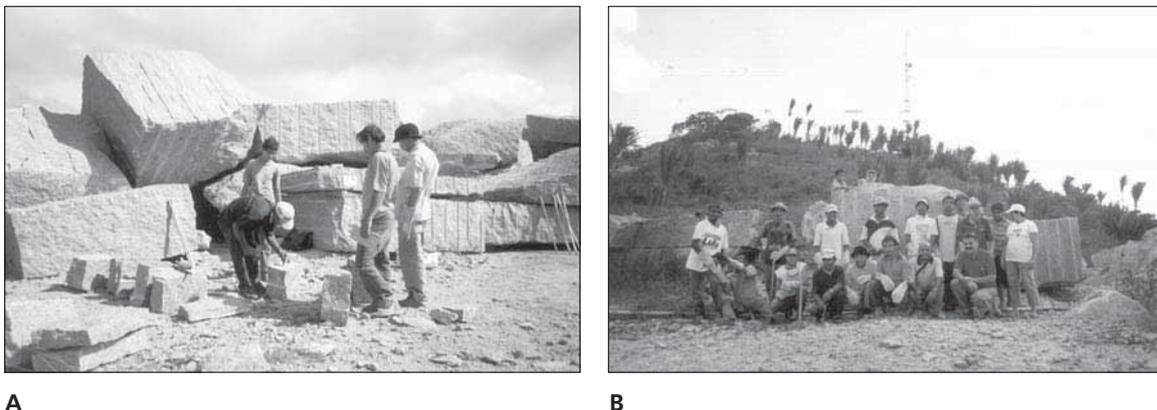


Figura 1: Realização do curso ministrado na Comunidade Mato Grosso, Jazida Rain Forest

Etapas Final

- Tratamento dos dados, integração e interpretação dos resultados; Análises das composições químicas de diferentes tipos de resíduos; Estudo e definição da aplicação apropriada; Confecção de relatório final de pesquisa.

RESULTADOS

Transformação do rejeito em produtos para construção civil

Nas comunidades Santo Amaro e Riacho Fundo pertencentes ao município de Massapê os integrantes que participaram dos cursos de capacitação estão desenvolvendo a confecção e a comercialização de pedras toscas para calçamento e paralelepípedos para obras na sede do município.

Na comunidade de Mato Grosso, pertencente ao município de Meruoca, os integrantes que participaram dos cursos de capacitação aguardam a execução do projeto de construção de estradas vicinais para iniciar a elaboração de pedras para calçamento na pedreira do granito Rain Forest.

Análise petrográfica dos granitos

Considerando que a análise petrográfica é fundamental para avaliar o comportamento tecnológico das rochas (MATTOS, 2005), foram analisados e quantificados os parâmetros composicionais, texturais e estruturais, tipos e graus de alteração e de microfissuramento mineral das rochas estudadas (tabela I).

Tabela I: Proporção mineralógica dos granitos da Serra da Meruoca

Tipos Graníticos/ Minerais	Rain Forest	Juparaná Gold	Vermelho Filomena*	Meruoca Clássico*	Verde Ceará*
Feldspato potássico (%) (microclínio)	45	44	55	40	53
Quartzo (%)	30	36	20	33	33
Plagioclásio (%) (albita)	13	10	13	12	8
Biotita e Anfibólio (%) (micas)	10	7	9	13	5
Acessórios (%) (óxidos de Fe e Mg)	2	3	3	2	1
Total	100	100	100	100	100

*Granitos pesquisados em Torquato (2004)

Caracterização Petrográfica Geral

Os dois tipos graníticos apresentam estrutura homogênea, textura inequigranular (cristais *c/* diferenças de tamanho de até 1:10) com granulação variando entre média a grossa (diâmetro médio entre 7 e 10 mm) a forma cristalina dos cristais é regular (nem perfeita, nem totalmente imperfeita). Em torno de 80% dos minerais apresentam contatos do tipo côncavo-convexo e serrilhado, mostrando um ótimo grau de engrenamento mineral. A maioria (70%) das microfissuras é intragrão (atravessam o cristal), são preenchidas, irregulares, sem direção preferencial e variam de média a curta. As microfissuras intergrãos (atravessam vários cristais), são preenchidas por óxido de Ferro, são subparalelas e escalonadas com até 7,5 mm. O grau de microfissuramento pode ser considerado baixo e influi pouco na porosidade da rocha.

No granito Rain Forest o grau de alteração intempélica (temperatura ambiente) é incipiente (< 30%), representada pela oxidação de silicatos ferromagnesianos (anfíbólio) que penetram nas microfissuras. Porém a alteração a temperaturas mais elevadas ($\pm 300^{\circ}$ C) considerada hidrotermal e/ou pós-magmática apresenta grau intenso (>60%), sobretudo pela oxidação dos minerais ferromagnesianos (biotita e anfíbólio), onde ocorre cristalização de óxidos de ferro (cristais opacos de até ± 2 mm), além da formação pulverulenta destes óxidos sobre cristais de feldspato alcalino gerando um aspecto turvo.

No granito Juparaná Gold os microfissuras ocorrem no feldspato, ao longo das maclas e próximas ao contatos, chegam até ± 8 mm, são preenchidas por óxido de ferro. A alteração intempélica é moderada (< 60 a 30% da superfície mineral). Os minerais que contêm ferro (biotita, opacos, anfibólios) "mancham" todos os outros cristais do seu entorno, sendo que o óxido de ferro penetra nas maclas, microfissuras e clivagens; agregados de biotita com aspecto corroído e opacos de até 2 mm (magnetita). São comuns cristais de plagioclásio com núcleos alterados para argilominerais e oxidados quando próximos à biotita. A alteração pós-magmática foi atuando progressivamente, desestabilizando e transformando anfibólios em biotita, gerando biotita corroída com óxido de ferro (cristais opacos) + fluorita.

Mineralogia

No granito Rain Forest o quartzo ocorre em forma de agregados (\pm 7 a 8 mm) constituídos por vários cristais menores, com tamanhos e formas são muito irregulares. O feldspato potássico (microclínio+ortoclásio) chega até 20 mm cristais maiores. A maioria tem exsoluções (intercrescimento) de Na, pequenas inclusões de quartzo e plagioclásio e aspecto turvo/sujo (alteração pulverulenta de hematita), com microfissuras preenchidas por óxido de Ferro. O plagioclásio (albita+ outros) varia de 1 (como inclusões) a 6 mm, com núcleo alterado por lamelas de mica branca e manchas de óxido de Ferro. A maioria dos cristais de biotita apresentam-se muito alterados, corroídos, em agregados e associados à diversos minerais acessórios (magnetita, allanita, fluorita, monazita, zircão, apatita).

No granito Juparaná Gold a caracterização mineralógica é muito semelhante ao Rain Forest, porém no primeiro todos os cristais de feldspato potássico apresentam intercrescimento de Na alterado para albita e estão visivelmente mais manchados com aspecto turvo de oxidação de Ferro, gerado pela alteração pulverulenta de hematita. A biotita ocorre desestabilizada, com alterações para mica branca, fluorita e óxido de Ferro. Pedacos de biotita e de anfibólio nos contatos com quartzo e k-feldspatos "mancham" de ferrugem a rocha, gerando a coloração amarelada a olho nu.

Ensaio de Caracterização Tecnológica

As características tecnológicas dos dois tipos graníticos Juparaná Gold e Rain Forest, foram obtidas segundo procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1992).

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

Tabela II: Resultados dos Ensaio Físico-Mecânicos realizados nos 2 tipos graníticos

Ensaio	Granito Juparaná Gold	Granito Rain Forest	Frazão & Farjallat (1995)*
Massa específica aparente seca (kg/m^3)	2,615	2,614	$\geq 2,560$
Massa específica saturada (kg/m^3)	2,624	2,625	n.e.
Porosidade aparente (%)	0,94	1,13	$\leq 1,0$
Absorção d'água (%)	0,36	0,43	$\leq 0,4$
Resistência ao impacto (cm)	60,0	67,5	$\geq 40,0$
Resistência desgaste Amsler (mm)	0,81	0,73	$\leq 1,0$
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	116,3	111,5	$\geq 100,0$
Resistência à flexão (MPa)	11,30	10,83	$\geq 10,0$

*Valores limítrofes sugeridos por Frazão&Farjallat para granitos (1995) n.e – não especificado

Os resultados apresentados na tabela II mostram que, de modo geral, os dois tipos graníticos apresentam ótima qualificação como rocha ornamental, com boa caracterização tecnológica. Todos os ensaios realizados apresentaram-se dentro dos valores limítrofes sugeridos, com ressalvas para o índice de porosidade e absorção do granito Rain Forest, os quais se apresentam levemente abaixo dos limites estabelecidos tanto por Frazão & Farjallat (1995), quanto pela ASTM (1992), que especifica $\leq 0,4$ % para absorção d'água.

Os valores dentro dos limites sugeridos indicam que, tanto o granito Juparaná Gold quanto o Rain Forest, são produtos que podem ser utilizados em diversos ambientes com solicitações de atrito, impacto, umidade, esforços fletores e compressivos. Tendo certo cuidado para com o granito Rain Forest que deve ser resinado quando aplicado em ambientes úmidos devido ao seu índice de porosidade e absorção um pouco acima do índice recomendado. Estes resultados possibilitam a diminuição do desperdício de granito, uma vez que de posse das informações pode-se evitar o uso em determinadas situações.

Geoquímica de rocha total

Os estudos geoquímicos são embasados em análises químicas de rocha total efetuadas apenas nas variedades graníticas Juparaná Gold e Rain Forest. Os estudos litogeoquímicos objetivam complementar os estudos geológicos e petrográficos efetuados no sentido de fornecer uma melhor caracterização genética e evolutiva dos magmas geradores dos referidos granitos NOGUEIRA NETO *et al.* (2002).

Os resultados das análises de química de rocha total (Tabela III).indicam que o pó dos dois tipos graníticos pode ser considerado uma importante matéria prima na composição de cerâmicas, pois apresentam materiais fundentes (Na e K), ou seja, materiais que derretem com as altas temperaturas de queima e preenchem os poros da cerâmica. Isto confere resistência e baixa absorção. Apresentam também grande quantidade de SiO_2 material que confere variação dimensional da peça a 573° . A quantidade apresentada pelo óxido de alumínio (Al_2O_3) é positiva, pois é muito útil nas cerâmicas refratárias. A quantidade de óxido de Ferro está no limite admitido no uso de cerâmicas para componentes elétricos (Abaixo de 3%).

Tabela III: Resultados das Análises Químicas realizadas nos 2 tipos graníticos

<i>Análises</i>	<i>Granito Juparaná Gold</i>	<i>Granito Rain Forest</i>
Sílica (em % SiO_2),	72,80	72,38
Alumínio (em % Al_2O_3),	9,78	10,37
Óxido de Cálcio (em % CaO),	0,10	0,12
Óxido de Ferro (em % FeO),	2,43	3,68
Óxido de Magnésio (em % MgO),	0,02	0,01
Óxido de Manganês (em % MnO),	0,02	0,02
Óxido de Titânio (em % TiO_2)	0,01	0,02
Perda ao Fogo (em %)	0,45	0,23

Moagem, Prensagem e sinterização dos corpos-de-prova

As peças produzidas (prensadas e sinterizadas) dos pós de ambos os tipos graníticos, apresentaram o melhor desempenho na temperatura de 1150 °C, principalmente nas granulometrias de 75 µm e 45 µm cuja taxa de aquecimento foi de 5 °C/min (desde a temperatura ambiente até a temperatura desejada). O melhor desempenho significa menor deformação da peça.

Ensaio de avaliação de Dureza das peças Sinterizadas

Nesta pesquisa foi selecionada uma carga de 9,8 N que foi aplicada automaticamente durante um tempo de 10 s. Foram feitas 10 medidas em cada amostra. O aparelho possui um microscópio para medir a indentação. O aparelho calcula automaticamente a dureza depois que a indentação for medida, eliminando a necessidade de tabelas da conversão de dureza.

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers em barras retangulares sinterizadas dos granitos Juparaná Gold e Rain Forest. As barras foram obtidas por prensagem uniaxial dos pós desses granitos, que apresentavam uma granulometria inicial de 200 mesh. Dois valores de cargas foram utilizados durante a prensagem: 9 e 12 toneladas. Após secagem a 70 °C durante 24h as barras foram sinterizadas a diferentes temperaturas, taxas de aquecimento e diferentes tempos de permanência (patamar) à temperatura de sinterização.

Amostras de granito Juparaná Gold

- Sinterizada aos 1150 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 30 minutos e uma força aplicada de 12 toneladas. **Hv = 738**
- Sinterizada aos 1170 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 741.**
- Sinterizada aos 1200 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 760.**
- Sinterizada aos 1150 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 9 toneladas. **Hv = 712**
- Sinterizada aos 1170 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 9 toneladas. **Hv = 705**
- Sinterizada aos 1200 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 9 toneladas. **Hv = 741**

Amostras de granito Rain Forest

- Sinterizada aos 1100 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 474**
- Sinterizada aos 1150 °C com uma taxa de aquecimento de 8 °C/min, um patamar de 15 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 583**
- Sinterizada aos 1150 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 9 toneladas. **Hv = 708**

- Sinterizada aos 1150 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 740**
- Sinterizada aos 1170 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 754**
- Sinterizada aos 1200 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar de 60 minutos e uma carga aplicada de 12 toneladas. **Hv = 760**

Ensaio de absorção d'água das peças Sinterizadas

Além das peças de ambos os granitos serem prensadas e sinterizadas durante 1 hora às temperaturas de 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1250 °C com taxa de aquecimento de 5 °C/min; foram também submetidas a ensaio de absorção d'água, cujos resultados foram os seguintes: 1050 °C = 21,9%, 1100 °C = 15,4%, 1150 °C = 3,2% e 1250 °C = 0%.

Estudo por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura mostra as variações de formato e tamanho das partículas do pó. Na Figura 3 é mostrado o aspecto do pó bruto resultante do beneficiamento da extração do bloco de granito para o Rain Forest (A) e para o Juparaná Gold (B).

Na verificação da morfologia do pó bruto percebe-se uma considerável variação no tamanho das partículas o que dificulta fatores básicos no processamento do pó, por isto foi peneirado com granulometrias de #200 e # 320 para os ensaios de sinterização, na operação posterior de prensagem o pó de granito Rain Forest apresentou maior facilidade de prensagem.

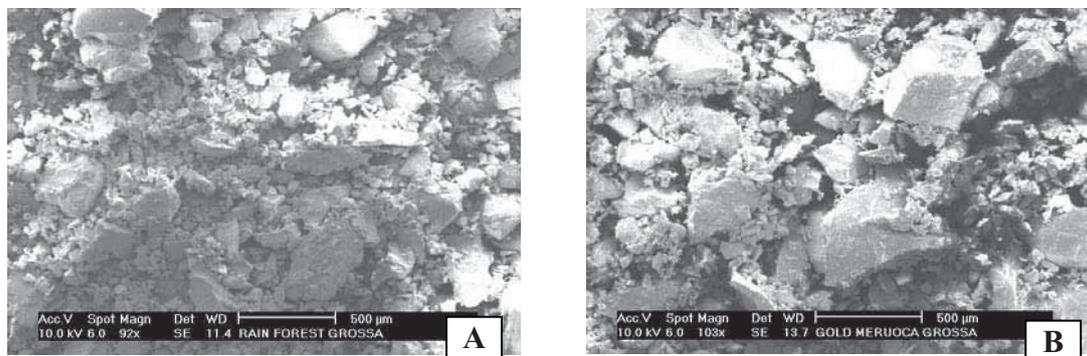


Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura do pó de granito Rain Forest (A) e Juparaná Gold (B) em estado bruto

Integração dos Resultados

O estudo de sinterização de pós depende de fatores físicos e químicos. Os fatores físicos são: tamanho e forma da partícula, composição, homogeneidade, densidade a verde. Dependendo destes fatores há uma grande variedade de respostas aos ciclos térmicos NOGUEIRA *et al.* (2006).

O granito é formado por três componentes principais: quartzo (SiO_2), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e microclínio (KAlSi_3O_8). O quartzo tem uma temperatura de fusão de 1650 °C enquanto que as

temperaturas de fusão da albita e do microclínio estão na faixa de 1120-1140 °C. A Figura 4 mostra a evolução das amostras quando submetidas às diferentes temperaturas

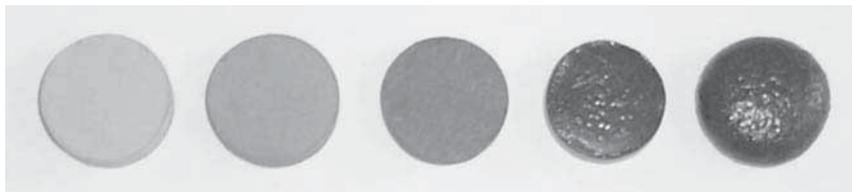


Figura 4: Da esquerda para a direita: amostra a verde, sinterizada aos 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1250 °C do pó de granito Rain Forest com granulometria de 200 mesh

Nas amostras tratadas termicamente à temperatura de 1150 °C tanto para o granito Rain Forest quanto para o Juparaná Gold há uma modificação de cor, passando de esverdeadas para amareladas, provavelmente por uma reação química em que o Fe^{+2} (que dá uma cor esverdeada), passa para Fe^{+3} (que dá a cor amarelada). A esta temperatura as amostras estão pré-sinterizadas, podem ser manuseadas com facilidade, mas são facilmente fragmentadas com a aplicação de pequenos esforços. A retração diametral é quase desprezível, ficando ao redor de 0.8%.

Nas amostras tratadas termicamente aos 1100 °C há uma retração diametral de ao redor do 8% e apresentam uma tonalidade marrom.

Para a temperatura de 1150 °C ocorre sinterização com fase líquida produzindo uma vitrificação no resfriamento. Infelizmente, uma melhor compreensão do processo não foi possível, por não se conhecer os diagramas de fase dos granitos à pressão atmosférica. De acordo com o comportamento dos granitos durante a sinterização se pode afirmar que correspondem ao tipo clássico de sinterização com fase líquida, onde há solubilidade baixa do líquido (microclínio e albita) no sólido (quartzo) com uma solubilidade alta do sólido no líquido, o que produz densificação. A esta temperatura as peças estão sinterizadas e sofrem retração diametral de aproximadamente 9.7%. Apresentam uma cor escura e a presença de vitrificação.

Para a temperatura de 1250 °C aumenta a quantidade de fase líquida e ocorre uma deformação das peças que apresentam formas arredondadas. Esse efeito é mais acentuado no granito Rain Forest porque provavelmente tem uma temperatura de sinterização ligeiramente inferior à do Juparaná Gold. O intumescimento das peças a 1250 °C evidencia um aquecimento exagerado, que levou, provavelmente, a uma transformação de fase com evolução de gases e/ou variação volumétrica. Outro fato importante a atentar é que, embora os materiais apresentem-se diferentes quanto à coloração antes do processo de queima, os mesmos se comportam de maneira semelhante no processo de sinterização, vitrificando exatamente na mesma faixa de temperatura.

Este foi o comportamento geral dos dois tipos de granito nas duas granulometrias investigadas. São necessários estudos mais aprofundados para determinar a adequação dos dois à aplicação em moldagem por injeção e revestimento cerâmico.

Foram realizados estudos de dureza nas rochas de granito e em amostras sinterizadas as diferentes temperaturas para os dois granitos com as diferentes granulometrias e os resultados são apresentados na Tabela IV.

Tabela IV: Durezas dos granitos Rain Forest e Juparaná Gold

Rocha	Dureza Rain Forest	Dureza Juparaná Gold
	586	618
Pó Sinterizado 1050 °C (200 #)	268	292
Pó Sinterizado 1100 °C (200 #)	400	402
Pó Sinterizado 1150 °C (200 #)	652	683
Pó Sinterizado 1250 °C (200 #)	723	709
Pó Sinterizado 1050 °C (325 #)	272	306
Pó Sinterizado 1100 °C (325 #)	467	574
Pó Sinterizado 1150 °C (325 #)	677	780
Pó Sinterizado 1250 °C (325 #)	731	717

Na Tabela IV pode-se ver um grande aumento de dureza nas amostras a partir dos 1150 °C para os dois granitos o que evidencia o fenômeno de vitrificação que foi verificado visualmente. A dureza a partir dos 1150 °C e ainda maior que a da rocha natural. O próximo passo é determinar as características das fases presentes nas peças sinterizadas por difração de raios X.

CONCLUSÕES

Reaproveitamento do Pó de granito

Os dois granitos estudados apresentam características tecnológicas muito semelhantes como evidenciado na petrografia, estudos de MEV, sinterização e dureza. O granito Rain Forest se comporta melhor durante o processo de prensagem e o Juparaná Gold tem uma maior dureza quando sinterizado, mas devem ser feitos estudos mais aprofundados de raios X das amostras sinterizadas e também com MEV para selecionar os parâmetros e as condições mais adequadas para aplicações futuras de cada um deles.

Embora a temperatura de sinterização de 1250° C dos pós indique o% de absorção d'água nas peças, esta mesma temperatura gera deformidades, neste caso é recomendável fabricar peças cerâmicas a 1150° C, para evitar deformações na peça. Ambos os materiais, após a sinterização, apresentaram durezas próximas à da rocha original, o que é um indicador da viabilidade de aproveitamento desses resíduos.

De acordo com as análises dos resultados e os estudos desenvolvidos, é possível recomendar o uso do pó de granito na fabricação de cerâmicas de revestimento e cerâmicas especiais, com características refratárias, substituindo argilas de elevado valor de mercado.

Reaproveitamento dos pedaços de granito

Apesar de todas as comunidades terem sido capacitadas, nem todas as pessoas estão atualmente trabalhando diretamente com a elaboração de peças. A comunidade de Mato Grosso (Meruoca) decidiu que irá aguardar a demanda de materiais para reiniciar as atividades reaproveitamento dos resíduos. Já na comunidade de Santo Amaro os trabalhos de fabricação peças estão ocorrendo pois atualmente existe uma grande demanda de produtos para a construção civil nas obras no município de Massapê,

É importante salientar que as atividades de produção de peças estão diretamente relacionadas com a demanda destes materiais no mercado local. É de extrema importância a atuação das parcerias das prefeituras com as comunidades para que os rejeitos continuem sendo aproveitados e transformados em renda.

AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem ao Banco do Nordeste (BNB), através do ETENE/FUNDECI (Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Edital nº 01/2003 por ter financiado parte da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM - American Society for Testing and Materials (C 615). 1992: Standard Specification for Granite Dimension Stone.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –1992 a, d, e, f, g. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais - NBR 12.042, 12.766, 12.767, 12.763, 12.764. ABNT, São Paulo, SP.
- FRAZÃO, E. B. e FARJALLAT, J. E. S. 1995: Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento. I Congresso internacional de Pedra Natural. Lisboa-Portugal. 47-58 p.
- MATTOS, I. C.; 2005 *Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral/CE*, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 260 f.
- NOGUEIRA NETO, J.A., MATTOS, I.C., SAUERBRONN, W.M., FERNANDES, A.H.M., CORDEIRO, E.R., NOGUEIRA, R.E.F.Q, CAJATY, A.A., ARTUR, A.C, SASAKI, J.M., 2002. Petrografia e química mineral de dois tipos faciológicos do Granito Serra da Barriga – Sobral (CE): Resultados Preliminares. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – Recife.
- NOGUEIRA, R.E.F.Q, Argonz, R. Mattos, I.C. Cordeiro R. E., Araújo, A T. F. S., Caracterização de resíduos provenientes da extração de granitos da Serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica. A ser apresentado no XVII CBECIMAT, Foz do Iguaçu, PR 2006.
- TORQUATO, M. F. B. 2004 *Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará*. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2004, 275f

CAPÍTULO 27

MÁRMORE BEGE BAHIA: DOS TEMPOS PRETÉRITOS AO PANORAMA ATUAL

Ana Cristina Franco Magalhães¹

RESUMO

A rocha que comercialmente assume a denominação de mármore Bege Bahia Bege Bahia é, na verdade, uma variedade do calcrete da Formação Caatinga. Trata-se de uma crosta calcária terciário-quadernária de grande extensão, que recobre o calcário neoproterozóico da Formação Salitre, do Grupo Una.

O calcário da Formação Caatinga é branco-rosado a cinza-esbranquiçado, por vezes bege a amarelado, fragmentário, maciço ou compacto. Grãos exógenos de quartzo de crescimento sintaxial, subangulosos a subarredondados, podem ocorrer na proporção de 2% a 4% da massa carbonática.

Com a consolidação da massa calcrete, a rocha carbonática ganha importância econômica e comercial, ao constituir a variedade litológica denominada Mármore Bege Bahia. O mármore é de coloração bege, granulação fina, aspecto brechóide, com vênulas e grãos diminutos de quartzo. Tem na sua composição mineralógica 98% de carbonato e apenas 2% de quartzo. Ao exibir a estética e evidenciar as propriedades físicas e mecânicas de um mármore típico, o Bege Bahia é bastante apreciado em aplicações como rocha ornamental, material de revestimento e piso de áreas internas, e outras, como esculturas e objetos de arte. Suas características físicas e mecânicas são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1: Características físicas e mecânicas do Mármore Bege Bahia

Índices físicos	Valores
Massa específica aparente	2.606 kg/m ³
Porosidade aparente	2,62 %
Absorção d'água	1,01 %
Desgaste amsler	1,31 mm
Resistência à compressão uniaxial simples	137,3 MPa
Resistência à compressão uniaxial após gelo-degelo	101,6 MPa
Resistência ao impacto	0,41 m
Módulo de deformabilidade estático	67,87 GPa
Coefficiente de dilatação térmica linear	13,8 mm/m°Cx10 ⁻³
Resistência à flexão	16,65 MPa

¹ Secretaria da Indústria Comércio e Mineração – Superintendência de Indústria e Mineração – Coordenação de Mineração. e-mail: ana@sicm.ba.gov.br

A extração do Bege Bahia iniciou-se a partir da utilização da rocha como *pedra portuguesa* para calçamentos, no início dos anos 1950, mas, no final desta década, passou a ser extraído em bloquetes para recorte de chapas e utilização como mármore.

Em sua trajetória de quase cinqüenta anos de comercialização, conquistou o mercado brasileiro, por se tratar de uma rocha com padrão cromático de fácil aceitação, que transmite leveza. Mesmo apresentando padrão estético simples, sua aplicação confere a esses ambientes um efeito em que elegância e sofisticação se integram perfeitamente.

Desde a sua inserção no mercado, o Bege Bahia já recebeu diversos cognomes, a começar pela denominação de Mármore Marta Rocha, numa analogia entre a beleza da rocha e da então Miss Bahia, cuja fama, à época, corria o mundo. Entretanto, veio a ser consagrado, anos mais tarde, pelo nome que reúne a sua cor ao nome do seu estado produtor: Mármore Bege Bahia.

A história da exploração do Bege Bahia é marcada por dois períodos distintos. O primeiro vai da sua descoberta, nos idos da década de 50, até ao final dos anos 90, enquanto o segundo parte do ano 2000.

O primeiro período caracterizou-se essencialmente pelo uso de tecnologias de extração as mais primitivas. Apenas blocos eram então produzidos, e cerca de 70% da produção destinava-se às serrarias do Espírito Santo, especialmente aquelas localizadas em Cachoeiro do Itapemirim, onde eram desdobrados em chapas, ladrilhos e/ou produtos acabados, e distribuídos para o resto do país.

Naquela fase a lavra era feita na região de Juazeiro, no vale do Rio Salitre, ao longo do qual ocorre a formação calcárea que lhe deu origem. Com o passar dos anos e o avanço das pesquisas de campo, sua exploração deslocou-se para a região do atual município de Orolândia, no mesmo vale do Rio Salitre, onde se consolidou como atividade extrativa mineral. Blocos brutos do mármore eram transportados para as indústrias de beneficiamento espalhadas pelo Brasil afora, ainda com destaque para o pólo marmífero do município de Cachoeiro de Itapemirim, no Espírito Santo, que se transformou no grande processador e fornecedor de materiais acabados derivados do Bege Bahia.

Neste período a extração era feita com o uso de fio helicoidal, e muitas minas eram exploradas por produtores manuais, o que determinava um aviltamento do preço da rocha bruta, disputada por compradores, especialmente capixabas, que, por vezes, financiavam o produtor manual, com o intuito de obter blocos com preços bem abaixo do praticado no mercado. Isto acarretava sérios prejuízos às empresas legalmente constituídas.

Todas as empresas mineradoras instaladas na região atuavam de forma legal, sempre amparadas em títulos minerários registrados no DNPM. Já os produtores manuais extraíam o mármore na forma de garimpo, quase sempre de forma predatória e sem nenhum título minerário. Mesmo com os atuais recursos tecnológicos já alcançados na região, parte desta situação ainda persiste.

Na década de 80, em Jacobina, município vizinho de Orolândia, surgiram os primeiros teares para serrar o mármore Bege. Foi quando teve início, mais perto das minas, a produção de desdobrados.

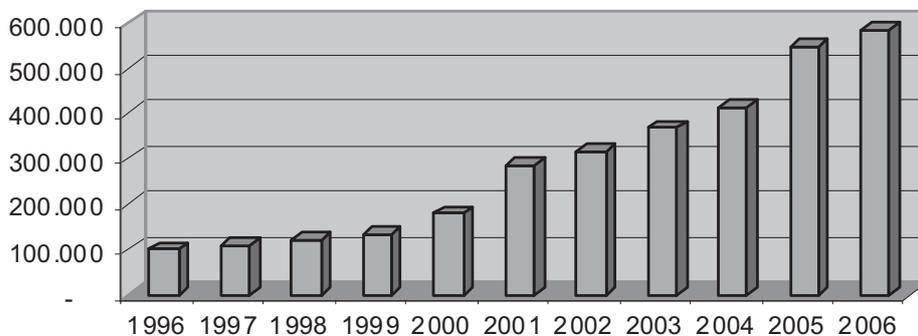
Até o final dos anos 90, o pequeno percentual que ficava no estado era desdobrado também em outras serrarias, localizadas em Feira de Santana e Salvador. Essas serrarias, via de regra, eram equipadas com teares convencionais, na sua grande maioria com vida útil muito avançada.

Até o ano de 2000, o município de Ourolândia possuía apenas uma pequena serraria equipada com dois teares convencionais, com mais de vinte anos de uso e capacidade para corte de apenas 1.500m²/mês, enquanto, em Jacobina, havia outros doze teares, todos também convencionais e, na maioria, com vida útil já bastante avançada.

O segundo período iniciou-se no ano de 2000, quando uma das mineradoras resolveu instalar um tear diamantado, em área próxima à pedreira. A produtividade seis vezes maior do tear diamantado frente ao tear convencional despertou os empresários locais para uma nova realidade e, em pouco tempo, outras indústrias começaram a trilhar o mesmo caminho. Assim, o que antes funcionava basicamente como um grande pólo produtor de materiais em bruto, transformou-se em um novo e promissor pólo de desdobramento de blocos.

A partir daí começa uma nova fase para o Bege Bahia, que passa a ser beneficiado nas proximidades das minas, reduzindo o custo com o frete – 25% do volume da rocha passa a ser consumido na operação de serragem – e agregando valor significativo à rocha, com benefícios consequentes para a região: geração de emprego e renda.

Os resultados alcançados determinaram mudanças rápidas na situação antes vigente. Novos teares diamantados foram instalados, e a produção local passou a ser quase toda ela industrializada na própria região. O gráfico 1 permite verificar o incremento na produção, que quadruplicou desde a instalação dos novos teares.



Fonte: Sicm/Comin – Pesquisa Direta

Gráfico 1 – Produção comercializada de Mármore Bege Bahia (m²)

Após decorridos seis anos, desde a implantação do primeiro tear diamantado, o cenário do Bege Bahia é completamente outro, tornando irreversível o processo de desenvolvimento da atividade. Máquinas de tecnologia supermoderna foram sendo instaladas. A qualidade do produto aprimorou-se, diante da modernização na gestão das empresas. Consolidaram-se, enfim, as bases de uma nova fase da produção industrial.

Vale ressaltar, portanto, que a grande mudança até o atual estágio da atividade, com toda a consistência do seu crescimento e da sua sustentabilidade, é fruto do emprego dos teares diamantados na serragem do Mármore Bege.

Até à introdução dos teares diamantados para o desdobramento dos blocos do Mármore Bege Bahia, as serrarias locais possuíam exclusivamente teares convencionais, que utilizavam lâminas de aço e granalha de ferro, insumos não apropriados para o corte de rochas calcárias parcialmente brechóides e com pequeno conteúdo de sílica, como é o caso do Bege Bahia.

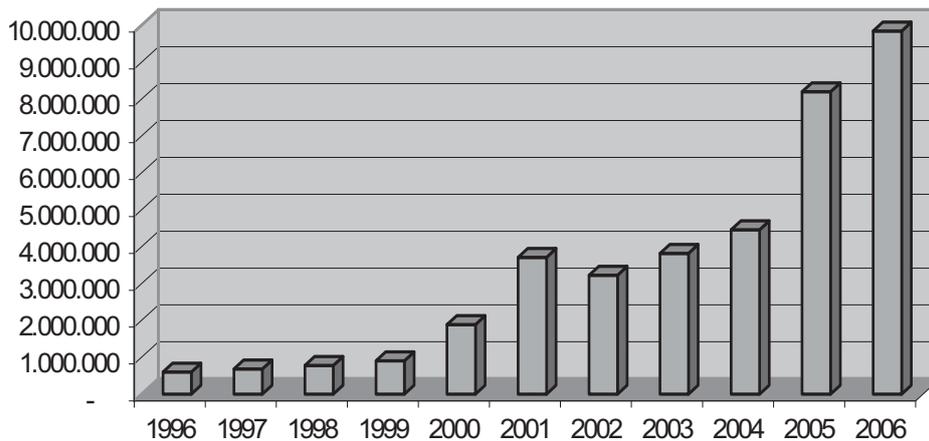
Para se ter uma idéia da mudança, basta evidenciar a incrível redução do tempo de serragem, que passou da média de cinco dias para menos de vinte horas, por bloco. O uso do tear diamantado permitiu aumentar em até seis vezes a produção de laminados, o que implica uma verdadeira revolução industrial.

Por outro lado, as inconveniências do uso de granalha de ferro, cujos resíduos nem sempre eram integralmente removidos na operação de lavagem e polimento, representavam restrições seríssimas ao emprego do Bege Bahia como material de revestimento. A própria qualidade da serragem, no caso do tear convencional, implicava custos mais elevados com o polimento, devido ao maior consumo de abrasivos.

Vale lembrar que o atraso na introdução em larga escala de teares diamantados foi consequência das restrições impostas à importação de máquinas mais modernas e da reserva de mercado, que algumas empresas nacionais conseguiram impor ao mercado durante longos anos, mantendo a exclusividade de fornecimento de seus equipamentos obsoletos, sendo portanto, indiferente à necessidade de modernização da atividade. A abertura do mercado brasileiro para os produtos importados escancarou o fosso tecnológico existente entre os nossos processos industriais e os praticados mundo afora.

Foi a partir de então que o Mármore Bege, assim como outras rochas ornamentais nacionais, passou a ser melhor processado, ampliando o seu uso no mercado da construção civil, e consolidando uma posição de grande significado econômico para o Brasil, vale dizer, em seus estados produtores.

A utilização de tecnologia adequada no corte deste mármore propiciou não só o crescimento da produção física, como também uma maior valorização da rocha desdobrada, fazendo com que o faturamento do segmento fosse multiplicado por quase dez vezes, a partir do ano 2000 (ver gráfico 2).



Fonte: Sicm/Comin – Pesquisa Direta

Gráfico z: Produção comercializada do Mármore Bege Bahia (US\$)

Para alcançar-se tal desempenho, não só requereram-se os avanços tecnológicos, mas obviamente, elevaram-se os investimentos. Ressalte-se que, neste caso, houve o emprego exclusivo de recursos próprios na introdução das novas tecnologias, manutenção e ampliação da atividade.

Estes indicadores trouxeram novo vigor ao município. Novos equipamentos foram instalados, e hoje o município já dispõe de oito teares em atividade, outros dois em fase de montagem, e um outro já foi encomendado a fornecedor italiano. Ao lado das indústrias de desdobramentos, surgiram empreendimentos especializados em polimento e serviços de marmoraria. Como consequência imediata, foram gerados mais de quinhentos empregos diretos.

A nova fase do Mármore Bege Bahia foi determinante para a uma gradual mudança no município. Entre 1999 e 2004, o município de Ourolândia viu a participação da indústria no seu PIB crescer mais de 300%, enquanto a agricultura, base da economia da região, registrou, no mesmo período, crescimento inferior a 20%. Já o segmento de serviços, também impactado pelo crescimento da indústria, registrou aumento de 102%. O PIB do município praticamente dobrou entre 1999 e 2004, saltando de R\$17,6 milhões para R\$34 milhões. No mesmo período, o PIB per capita cresceu 74%.

Todo este processo de desenvolvimento foi acompanhado de perto pelo Governo do Estado, atuando, há mais de uma década, por meio de projetos de apoio em infra-estrutura, divulgação e estudos de caráter técnico-científico, identificando os gargalos e entraves ao pleno desenvolvimento do setor, e trabalhando para solucioná-los. Hoje a área é considerada como um “Arranjo Produtivo Local” de base mineral, e a região passou a também contar com o apoio do Governo Federal.

Em termos de infra-estrutura, o Governo do Estado construiu estradas e eletrificou minas e indústrias. Como meios de divulgação, investiu em estandes e missões de negócios em feiras e mostras nacionais e internacionais, bem como na elaboração de publicações, cadastros, catálogos e folders. Quanto aos estudos técnico-científicos, foram desenvolvidos vários deles, com destaque para o estudo hidrogeológico do município (CBPM, 2004), a elaboração do mapa de semidetalhe da região, estudos sobre as técnicas de lavra e beneficiamento praticadas na re-

gião, classificação dos materiais lavrados, entre outros, além dos inúmeros cursos realizados e programados para este APL.

Mesmo com todas as ações desenvolvidas pelas empresas com o apoio dos governos federal e estadual, algumas ações de curto e médio prazo são ainda necessárias para que o segmento persista na sua trajetória ascendente, tais como:

- regularização ambiental dos empreendimentos mínero-industriais;
- ordenação e consolidação da ocupação territorial atual das empresas, planejamento racional da ocupação futura, a partir de um modelo que otimize os investimentos requeridos em infra-estrutura – água, telefonia, estradas, utilidades, etc –, bem como qualifique o uso e ocupação da área, conforme a função do empreendimento que ali venha a instalar-se, criando-se atrativos para uma localização centralizada não só do parque industrial, mas do conjunto de atividades auxiliares que lhe são pertinentes – oficinas de manutenção, empresa de locação de equipamentos, unidades avançadas de empresas fornecedoras, etc;
- apoio tecnológico para a identificação e seleção de processos industriais que melhorem a qualidade do produto ofertado ao mercado, inclusive visando ao mercado externo, potencialmente interessado em materiais com as características do mármore Bege;
- estudos tecnológicos visando ao aproveitamento dos resíduos e rejeitos das atividades de mineração, desdobramento e acabamento final;
- apoio aos pequenos mineradores, que produzem de forma manual ou semi-mecanizada, para organizá-los em uma cooperativa ou associação, que facilite a sua inserção no mercado, inclusive trabalhando no aproveitamento dos resíduos e rejeitos gerados pelas empresas inseridas em todos os níveis da cadeia produtiva; e
- identificação de fontes de financiamento e comprometimento das mesmas com o setor;

BIBLIOGRAFIA

- CATÁLOGO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DA BAHIA. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1994.
- COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. *Estudo e definição do modelo hidrogeológico da bacia do rio Salitre, onde ocorrem os depósitos do mármore Bege Bahia: relatório técnico*. Salvador, 2004.
- MAGALHÃES, A.C.F. et Vasconcellos, H.G. *Panorama de Rochas Ornamentais na Bahia*. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1994. 106p.
- RIBEIRO, A. F. et al. *Mármore Bege Bahia em Ouroândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento sustentável*. Salvador, CBPM, 2002. 39p., il (Série Arquivos Abertos, 17).

CAPÍTULO 28

PROCESSO DE REGULARIZAÇÃO DOS CALCÁRIOS DO CARIRI PELO PROJETO APL

Manoel William Padilha¹, Francisco Wilson Hollanda Vidal, Tácito Wálber Gomes Fernandes

RESUMO

Desde os anos 40, a mineração vem sendo feita no Cariri Cearense, região fronteira ao estado de Pernambuco, sendo direcionada a exploração da gipsita, no município de Santana do Cariri pela Chaves Mineração. Concomitante a este processo de extração mineral, também o calcário laminado, inicialmente denominado na região como "Pedra Santana" era retirado pelos moradores dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda para uso na construção de alicerces, pisos e revestimentos para residências. Com sua aceitação por parte dos usuários, por ser considerada uma "pedra fria," sua exploração tornou-se uma atividade rotineira e rentável comercialmente, porém o método de extração, por ser bastante rudimentar, começara a gerar problemas ambientais, notadamente pela retirada desse material ser feita ao longo da calha dos riachos, onde a frente de lavra já era aberta pela passagem da água em um material friável. Ao longo dos anos a exploração desse calcário tornou-se uma das principais atividades econômicas destes municípios, chegando a representar, na época, aproximadamente 60% da economia dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda. Segundo dados levantados pelo DNPM, contidos no Projeto Distrito Mineiro da Chapada do Araripe, Estado do Ceará, em 2005 havia 272 frentes de lavra e 37 serrarias cadastradas nestes municípios. No ano de 2005, após estudos realizados pelo CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia, que levantaram, em etapas de campo, os principais problemas e as possíveis soluções, nasceu o embrião do Projeto Arranjo Produtivo Local de Base Mineral dos Calcários do Cariri. O projeto contou com recursos do CT - Mineral e com vários parceiros, tanto a nível municipal, com as prefeituras, as associações já existentes, bem como na esfera estadual, com universidades estaduais e o órgão do governo estadual, como em âmbito federal, com os ministérios da Ciência e Tecnologia e das Minas e Energia, órgãos como o SEBRAE, e universidades federais. Atualmente este projeto encontra-se em sua fase final, e seu objetivo é a realização de uma ampla ação na cadeia produtiva atuando sobre fatores que afetam o desenvolvimento tecnológico, regularização das empresas de mineração, gerência e cooperativismo, dentre outros. Serão aqui enfocadas as ações relativas aos processos de regularização mineral e ambiental desenvolvidas no projeto para que tal atividade, de interesse maior atualmente nos municípios da Santana do Cariri e Nova Olinda, possa se desenvolver de forma legal e ordenada, levando-se em conta sua importância econômico-social.

1 Geólogo - Superintendência Estadual do Meio-Ambiente do Ceará. E-mail: manoel.william@gmail.com

INTRODUÇÃO

Com a finalidade de indução ao desenvolvimento sócio-econômico e tecnológico regional, surgiram os Arranjos Produtivos Locais (APLs), tendo como objetivo geral, a *"realização de uma ampla análise das cadeias produtivas regionais, diagnosticando os fatores que afetam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade das empresas, propondo ações capazes de promover a modernização e o fortalecimento de toda a cadeia produtiva identificando possíveis parceiras para solução dos problemas a partir das ações propostas."*

Através desta visão, em dezembro de 2004, foi autorizada pela Financiadora de Estudos e Projetos FINEP/FNDCT-CT-MINERAL, os recursos financeiros necessários à implantação do Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do Calcários do Cariri do Ceará, na Região do Cariri Cearense, projeto que tem como proponente a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP e como executor, o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

O novo APL surgiu como a primeira experiência na área mineral do Estado, e atualmente contempla os municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, por serem os municípios com maior vocação e por serem os dois maiores produtores de lajes de calcário sedimentar do estado do Ceará, com destaques tanto ao grande número de frentes produtivas, bem como unidades de beneficiamento.

Trabalhos realizados anteriormente ao projeto APL calcários do Cariri

Baseado na evidência iminente, de uma possível paralisação das atividades de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, o que resultaria em conseqüências sócioeconômicas drásticas aos moradores destes municípios, a Associação dos Produtores da Pedra Cariri mobilizou os produtores da região com o intuito de exigir apoio dos órgãos competentes, em todas as esferas de governo.

A preocupação foi inicialmente fundamentada na resolução de pendências relacionadas à legalização da atividade junto aos órgãos reguladores. A seguir demonstramos em ordem cronológica todas as ações realizadas.

- Em meados dos anos 90, através de reunião promovida entre o chefe do 10º Distrito do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM e o presidente da Companhia de Desenvolvimento do Ceará – CODECE, empresa responsável pela mineração no Estado do Ceará, foi determinado a realização do requerimento de todas as áreas de exploração da Pedra Cariri, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, tendo como titular a CODECE, que pesquisaria e posteriormente repassaria aos produtores, os direitos minerários. O trabalho resultou em 03 (três) áreas em Nova Olinda e 15 (quinze) em Santana do Cariri, das quais, 08 (oito) eram mineralizadas em calcários, sendo o restante descartado com base em relatório negativo.
- As 08 (oito) áreas do município de Santana do Cariri foram requeridas, com seus alvarás de pesquisa publicados em 1995, tendo como titular a CODECE, totalizando 3.538,91 hectares. Estas áreas foram pesquisadas e obtiveram aprovação de seu Relatório Final, em 1997. No ano de 1998, devido a extinção de sua diretoria de mineração, a CODECE encaminhou ao DNPM requerimento desistindo dos direitos minerários das áreas, as quais entraram em processo de disponibilidade.

A regularização das áreas como prioridade do projeto APL

Com base em estudos realizados antes e posteriormente a liberação de recursos para o projeto, período onde foram diagnosticados problemas em relação a atividade de extração da Pedra Cariri, principalmente em Nova Olinda e Santana do Cariri, os técnicos responsáveis pelo projeto concluíram que a atividade no Cariri necessitava de mudanças, as quais seriam vitais e fundamentais à impulsão e crescimento da atividade a longo prazo. Dentre outras ações, os técnicos do APL decidiram pela meta física 7 do cronograma físico do projeto, como uma das principais e prioritária ao sucesso do projeto, a qual deveria obrigatoriamente ser executada na sua fase inicial.

Esta meta física que trata do processo de Regularização das áreas de extração foi considerada prioritária principalmente, devido aos seguintes aspectos diagnosticados nas áreas de extração do calcário:

- Retirada de espesso capeamento estéril removido durante o processo de extração da Pedra Cariri, resultando em assoreamento de drenagens;
- Produção de grandes quantidades de rejeitos nas áreas de extração não regularizadas junto aos órgãos competentes (DNPM e SEMACE);
- Predominância de mineração do calcário em áreas não regularizadas, desprovidas de licenciamento ambiental e com ocorrência de fósseis em todas as áreas de extração;
- Ausência de orientação aos produtores em relação ao Código de Mineração e ao Licenciamento Ambiental;
- Importância fundamental da atividade de extração e beneficiamento da Pedra no desenvolvimento sócioeconômico dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, visto que a pecuária se comporta apenas como atividade de subsistência;
- Baixo índice de desenvolvimento humano desses dois municípios, sendo a Pedra Cariri responsável por cerca de 80% da economia local;
- A atividade de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri vêm garantindo a permanência do homem do campo em seus municípios de origem, garantindo emprego e renda aos produtores e seus operários.

Principais ações realizadas no processo de regularização das áreas

Com base em dados levantados por técnicos do APL Calcários do Cariri, através de tratamento de dados oriundos de uma Matriz Problemas X Soluções que contemplou mineração em áreas não legalizadas, desprovidas de licenciamento ambiental e em áreas de mineração com grande frequência de ocorrências de fósseis, em termos estratégicos, o APL concentrou suas atividades nas atividades de regularização das áreas de extração, de acordo com exigências da SEMACE e DNPM, na transferência dos direitos minerários para uma cooperativa de produtores (em andamento), estabelecendo um modelo de governança através do cooperativismo, apoio ao planejamento e implantação do Termo de ajustamento de conduta – TAC e orientações e conscientização junto ao minerador, no cumprimento do código de mineração e das normas que regulam o licenciamento ambiental. Em síntese, o APL executou as atividades a seguir:

- Regularização junto ao DNPM, de 04 (quatro) processos de arrendamento parcial das áreas localizadas no processo da Mineração Casa de Pedra, em Santana do Cariri;
- Realização de trabalhos de campo, para delimitação das áreas através de GPS Geodésico (Figura 01) e elaboração dos mapas conforme o código mineral (CENTEC, CODECE e DNPM);
- Realização de trabalhos de campo em 19 áreas de extração de calcário, em Santana do Cariri, anteriormente pertencentes a empresa ITAPUI e, hoje, de titularidade da COOPEDRAS;
- Elaboração do EIA-RIMA, das 03 (três) áreas de Nova Olinda, aprovada pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente - COEMA, e obtenção de LI nº 377/2006, em setembro de 2006;
- Formalização da nova Cooperativa de Mineração dos Produtores da Pedra Cariri - COOPEDRAS, com 33 empresas produtoras;
- Transferência dos direitos minerários da antiga COOPERANA – Cooperativa dos Pequenos Produtores Rurais de Santana do Cariri – Ltda, à COOPEDRAS;
- Transferência dos direitos minerários da empresa Joaquim Henrile Nuvens de Alencar – ME, à COOPEDRAS;
- Apoio junto ao DNPM na realização das reuniões iniciais, em Juazeiro do Norte, para análise e formatação do Termo de Ajustamento de Conduta - TAC, para regularização das atividades de mineração do calcário, em áreas com ocorrências de fósseis, juntamente com o Ministério Público, PF, SEMACE, IBAMA, URCA;
- Apoio junto ao DNPM na realização de reuniões juntamente aos produtores da Pedra Cariri, com a finalidade de informar a respeito das orientações do TAC.



Figura 01: Delimitação das áreas de extração através de GPS-Geodésico.

CONCLUSÕES

O processo de regularização das áreas de extração do calcário no Cariri pode ser considerado no momento, como o grande marco da atividade de mineração da região, principalmente quando analisamos o grande benefício proporcionado aos pequenos e médios produtores referente a redução dos ônus de multas anteriormente pagas aos órgãos fiscalizadores.

A regularização das áreas e a formalização das firmas também proporcionará aos produtores facilidades de crédito (empréstimos e financiamentos) junto às instituições de fomento, além da facilidade de liberação de documentos necessários à comercialização doméstica e internacional, dos produtos derivados do beneficiamento da Pedra Cariri.

No âmbito da arrecadação, a formalização das empresas de pequenos e médios produtores, bem como da cooperativa contribuirá oficialmente com a arrecadação de impostos municipais, estaduais e federais, além de aprimorar aos produtores, novos conceitos de cooperativismo e gestão de negócios.

No tocante a conservação do meio ambiente, o processo de regularização das áreas de extração começa a direcionar os produtores, a uma nova filosofia de trabalho, fundamentada principalmente na conservação e proteção ambiental, conforme às exigências dos órgãos fiscalizadores.

Em termos paleontológicos, a regularização das áreas de extração condiciona aos produtores uma orientação e conscientização em relação a preservação dos fósseis encontrados nas lavras da Pedra Cariri, ressaltando o valor destes materiais, para a pesquisa e ciência. Através do Termo de Ajustamento de Conduta aplicado nas áreas de mineração de calcário com presença de fósseis, os produtores já estão cientes do valor do patrimônio fossilífero da região e já começaram a seguir as devidas orientações e procedimentos determinados pelo DNPM, para preservação deste patrimônio.

CAPÍTULO 29

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A VALORIZAÇÃO DA PEDRA CARIRI - CE

Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Tácito Walber G. Fernandes, D.A.C. Pequeno

RESUMO

Reconhecida como grande pólo da atividade de mineração do Ceará, a Região do Cariri Cearense está recebendo novas tecnologias que aprimoram a lavra e o beneficiamento do calcário, tendo como indutor, o projeto Arranjo Produtivo Local de Base Mineral - APL dos Calcários do Cariri - CE, atualmente desenvolvido principalmente nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri. Desde 2005, o Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) está fomentando inovações tecnológicas às atividades de mineração dos municípios de Nova Olinda, Santana do Cariri, Farias Brito e Altaneira, localizados ao sul do Ceará. Com a primeira fase do projeto APL dos Calcários do Cariri - CE, os municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri estão sendo beneficiados com novas tecnologias para a valorização da Pedra Cariri, com o objetivo de agregar valor e diferencial competitivo aos produtos destinados ao segmento da construção civil. Encravados na Chapada do Araripe, os municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri abrigam grandes concentrações de calcário sedimentar laminado, comercialmente conhecido por Pedra Cariri. Os calcários são comercializados sob a forma de lajes, utilizadas como revestimento na construção civil. O produto de maior demanda, o ladrilho 50x50cm, ainda apresenta baixa e grandes variações de preços ao longo de sua cadeia produtiva. A atividade de mineração em Nova Olinda e Santana do Cariri é realizada por cerca de 60 micro-empresas, já cooperadas, gerando 3.000 empregos diretos e indiretos, distribuídos entre cerca de 300 frentes de lavra e 40 serrarias. A cadeia produtiva da Pedra Cariri ainda apresenta métodos rudimentares na lavra e no beneficiamento, resultando em perda de 70% do material, além de baixo valor agregado dos produtos finais, principalmente, por deficiências no esquadreamento e calibração de ladrilhos. Ciente desta desvantagem competitiva, o Ministério da Integração Nacional (MI), através do programa Produzir (Novo Pronager), aprovou dois projetos que permitiram investimentos em inovações tecnológicas para a lavra e o beneficiamento da Pedra Cariri. Os recursos do MI estão sendo direcionados à implantação de duas unidades tecnológicas (piloto), uma em Nova Olinda e outra em Santana do Cariri, que serão gerenciadas pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico - CENTEC, através do cooperativismo já formalizado entre os mineradores. As novas unidades fabris, dotadas de tecnologias inovadoras (máquinas de corte, calibração e artefatos minerais) garantirão maior competitividade aos produtos, além de contribuírem para a redução de impactos ambientais, através do melhor aproveitamento na lavra e no beneficiamento de seus produtos. Com a

1 Doutor em Eng^a de Minas - Centro de Tecnologia Mineral. E-mail: fhollanda@cetem.gov.br

parceria de uma empresa italiana, já foram fabricadas seis máquinas, sendo duas para calibração (ajuste da espessura), duas para corte e esquadreamento dos ladrilhos (largura e comprimento) e duas Refilatrizes para fabricação de artefatos e artesanatos minerais, aproveitando rejeitos da Pedra Cariri. Com estas tecnologias de processo versáteis, a Pedra Cariri poderá ser comercializada no mercado, com um maior *mix* de ladrilhos, mosaicos e listelos de alta valor agregado, e grande variedade de acabamentos de superfície para uso como rocha de revestimento, conforme as novas tendências e demandas do mercado nacional e internacional.

INTRODUÇÃO

A Região do Cariri é reconhecida como um grande pólo da atividade de mineração do Ceará devido aos seus potenciais depósitos de calcários laminados, conhecidos como Pedra Cariri. Desde os anos 40, a mineração está presente no Cariri Cearense, inicialmente, tal atividade estava direcionada a extração da gipsita, no município de Santana do Cariri; concomitantemente a esta exploração, o calcário laminado, inicialmente denominado na Região como Pedra Santana era retirado de forma artesanal, pelos moradores dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, para uso na construção de alicerces, pisos e revestimentos de residências.

Devido ao fato do calcário sedimentar apresentar características de baixa absorção de calor e por ser de fácil exploração na Região, a extração e beneficiamento da Pedra Cariri cresceu e ganhou nome no mercado nacional, porém, ainda não se modernizou, e ainda enfrenta grandes problemas tecnológicos e mercadológicos, condicionados aos métodos e técnicas rudimentares de lavra e beneficiamento, comprometendo o valor agregado de seus produtos finais.

Como alternativa de reversão deste cenário, a partir do ano de 2005, uma iniciativa do Fundo Setorial Mineral (CT-MINERAL) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) está levando inovações tecnológicas à atividade de mineração dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, localizados na porção sul do Estado do Ceará.

Através do convênio entre o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Educação Superior – SECITECE, o projeto “Arranjo Produtivo Local (APL) do Calcário da Região do Cariri”, a Região do Cariri está recebendo inovações tecnológicas que visam aprimorar o processo de lavra e beneficiamento do calcário laminado, de nome comercial Pedra Cariri, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, como forma de agregar valor e proporcionando um diferencial competitivo ao mix de produtos resultantes do beneficiamento da Pedra Cariri, os quais são comercializados no segmento da construção civil, beneficiando os pequenos e médios produtores de Pedra Cariri, da Região

O APL do Calcário Cariri é a primeira experiência de formação de um APL de base mineral do Ceará. Com o apoio de instituições como a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Ministério da Integração Nacional e de parceiras ligadas ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), o projeto tem como principal objetivo realizar uma ampla ação na cadeia produtiva do calcário da região, eliminando fatores que afetam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade dos micro-produtores locais. O CETEM é o órgão executor do projeto, tendo como co-executores e parceiros o Departamento nacional de Produção Mineral – DNPM, O Instituto de Ensino

Tecnológico – CENTEC, a Universidade Regional do Cariri – URCA, a Companhia de Desenvolvimento do Ceará – CODECE e o SEBRAE.

A CADEIA PRODUTIVA DA PEDRA CARIRI

Encravados na Chapada do Araripe, os municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri abrigam grandes concentrações de calcário sedimentar laminado, comercialmente conhecido por Pedra Cariri. Os calcários extraídos e beneficiados principalmente por estes dois municípios, são comercializados sob a forma de lajes quadradas, utilizadas na construção civil, como revestimentos internos e externos. O produto com maior demanda é o ladrilho de 50x50cm, negociado por preços que seguem variantes que vão desde a mina de onde foi retirado, até o mercado consumidor ao qual será comercializado.

Hoje, a Pedra Cariri já abrange mercados como o de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Fortaleza (principalmente) e outros mercados nacionais, como os Estados de Pernambuco, Piauí, Maranhão, Bahia e Minas Gerais. Com o projeto APL, os produtores da Pedra Cariri pretendem dobrar a produção que hoje é de 80 mil toneladas por ano e alcançar o mercado internacional.

A atividade de mineração em Nova Olinda e Santana do Cariri é realizada por cerca de 60 micro-empresas, já cooperadas, gerando 3.000 empregos diretos e indiretos, distribuídos em cerca de 300 frentes de lavra e 40 serrarias. Estas empresas realizam as etapas de lavra, beneficiamento e muitas delas ainda distribuem seus produtos finais. A atividade ainda apresenta mão-de-obra com alto índice de informalidade e grande parte das empresas são familiares.

A cadeia produtiva da Pedra Cariri ainda apresenta métodos rudimentares na lavra e no beneficiamento, resultando em perda de 70% do material, além de baixo valor agregado dos produtos finais, principalmente, por deficiências de padronização dos ladrilhos, associadas ao esquadrejamento e calibração.

No tocante a aplicação de normas e segurança do trabalho, a atividade ainda apresenta métodos rudimentares de lavra e beneficiamento do calcário, favorecendo ao não conhecimento e a inconformidade às normas de segurança do trabalho, aspectos que deverão começar a serem corrigidos, com a implantação de duas unidades tecnológicas de beneficiamento da Pedra Cariri, as quais serão implantadas em Nova Olinda e Santana do Cariri e gerenciadas pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC.

Os pequenos e médios empresários mineradores e produtores da Pedra Cariri, ainda apresentam baixa qualificação em relação a gestão de seus negócios, necessitando de treinamento e acompanhamento. Atualmente, os produtores já estão associados à Cooperativa de Mineradores Produtores da Pedra Cariri – COOPEDRAS, seguindo este novo modelo de governança o qual será utilizado na duas unidades tecnológicas de beneficiamento da Pedra Cariri.

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Como alternativa de reverter os baixos índices de produtividade da cadeia produtiva da Pedra Cariri resultando em perda de material em cerca 70%, na lavra, bem como no baixo valor agregado de seus produtos finais, condicionado principalmente, por processos rudimentares no beneficiamento e deficientes na padronização (calibração e esquadrejamento) dos ladrilhos, no final do ano de 2005, o Ministério da Integração Nacional (MI), através do programa Produzir (NOVO PRONAGER), aprovou um projeto que já custeou a aquisição de novas máquinas e equipamentos. Esta nova tecnologia estará agregada a construção de dois galpões em terrenos cedidos pelo município de Nova Olinda e por produtores de Santana do Cariri, em regime de comodato. Os recursos do MI serão utilizados para a instalação de duas unidades tecnológicas (piloto) uma em cada município.

A implantação das unidades tecnológicas de beneficiamento da Pedra Cariri permitirá ganhos de qualidade ao produto final, através de tecnologia avançada, além de aproveitar os rejeitos da Pedra Cariri como artefatos e artesanato mineral de modo associativo. Em 2006, com a mesma finalidade do MI, a FINEP aprovou outro projeto de inovação tecnológica, através da chamada pública MCT/FINEP/SEBRAE Ação Transversal, com recursos destinados ao desenvolvimento de equipamentos para valorização da Pedra Cariri, no seu beneficiamento, principalmente, no acabamentos da superfície dos ladrilhos.

Como resultado da primeira etapa do projeto do MI, referente a maior parte de aplicação dos recursos financeiros, foram fabricadas seis máquinas, sendo duas para calibração (ajuste da espessura), duas para corte e esquadrejamento dos ladrilhos (largura e comprimento) e duas Refilatrizes, para fabricação de artefatos e artesanatos minerais, aproveitando rejeitos do beneficiamento da Pedra Cariri, as quais irão compor o layout de produção das duas unidades tecnológicas. Em seguida, ainda serão fabricadas mais duas máquinas tipo Refilatriz, sendo uma em escala de laboratório e outra em escala piloto, destinada ao CENTEC Juazeiro do Norte, objetivando cursos de capacitação em artefatos minerais. Estas máquinas produzirão pequenos mosaicos, listelos e ladrilhos para uso e aplicação como revestimento na construção civil.

As máquinas calibradoras e de corte estão provisoriamente instaladas nas dependências do CENTEC - Juazeiro do Norte, para o treinamento e demonstração aos produtores locais. Na segunda fase do projeto serão transferidas de forma definitiva aos novos galpões dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, atualmente, em fase de planejamento para construção.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS MÁQUINAS

MÁQUINA CALIBRADORA

Máquina responsável pelo ajuste de espessura do ladrilho, proporcionando uma padronização na espessura. O equipamento foi desenvolvido através de tecnologia italiana (Figura 1).



Figura 1: Máquina Calibradora, ajuste de espessura dos ladrilhos

Dimensões, peso e consumo de água

Dimensões C x L x A (m)	Peso (kgf)	Consumo de Água (l/min)
4,4 x 1,4 x 2,2	6500	105

Dimensões de usinagem

Permite o dimensionamento (ajuste da espessura) de pedras de 30 x 30 cm, até 60 x 60cm.

Produtividade

A Produtividade dessas máquinas é variável em função da espessura das peças em bruto e de quanto será usinado. Tais fatores são determinantes na velocidade da correia. Considerando a correia com velocidade média de 2,2 m/min, essas máquinas têm produtividade de acordo com as dimensões das pedras usinadas, conforme a tabela abaixo:

Dimensões das pedras (cm)	Produtividade (m ² /h)
40 x 40	52,8
50 x 50	66
60 x 60	79,2

Potência instalada

Considerando que são dotadas de três motores principais – dois de 25 Cv e um de 40 Cv – além dos componentes de menor porte – motor de acionamento da correia (2 Hp) e quadro de comando, estima-se para cada uma dessas máquinas uma potência de 65 kw.

MÁQUINAS DE CORTE (TRANSVERSAL E LONGITUDINAL)

Máquina responsável pela padronização no esquadrejamento do ladrilho, através de corte transversal e longitudinal. O equipamento foi desenvolvido através de tecnologia italiana (Figura 2).



Figura 2: Máquina de esquadrejamento de ladrilhos

Dimensões, peso e consumo de água

Dimensões C x L x A (m)	Peso (kgf)	Consumo de Água (l/min)
2,4 x 1,6 x 1,8	540	40

Dimensões de usinagem

Permite o corte paralelo de pedras de 30 x 30 cm a 60 x 60cm, permitindo ainda, graças ao aumento das dimensões da mesa e do curso desta, o corte simultâneo de até três peças de 40 x 40 enfileiradas (1,2 m).

Produtividade

Considerando que nestas máquinas o movimento de avanço é manual, fica difícil determinar precisamente valores de produtividade, podendo, no entanto, ser feita uma estimativa em função de dados experimentais. Tais números são influenciados pela espessura das peças em bruto, pelo agrupamento de duas ou mais peças em série, e de outros fatores, como heterogeneidade das pedras e/ou cansaço do operador. Também deve ser considerado que não está no escopo do nosso trabalho proceder a esses experimentos.

Potência instalada

São dotadas de dois motores de 7,5 Hp, indicando uma potência em torno de 11 kw.

MÁQUINA REFILATRIZ

Máquina utilizada para o aproveitamento dos rejeitos para produção de artefatos minerais, com acabamentos diversos, em forma de mosaicos e listelos. (Figura 3).

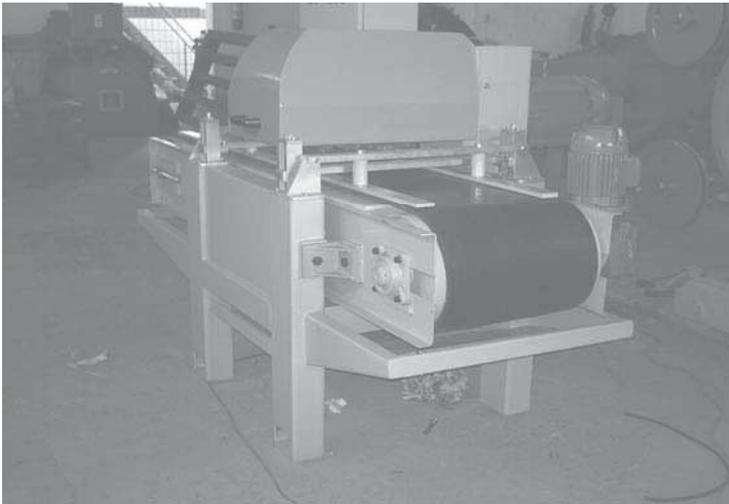


Figura 3: Máquina responsável pela produção de artefatos minerais, utilizando rejeitos da lavra e beneficiamento

Tipos de cortes realizados e combinações

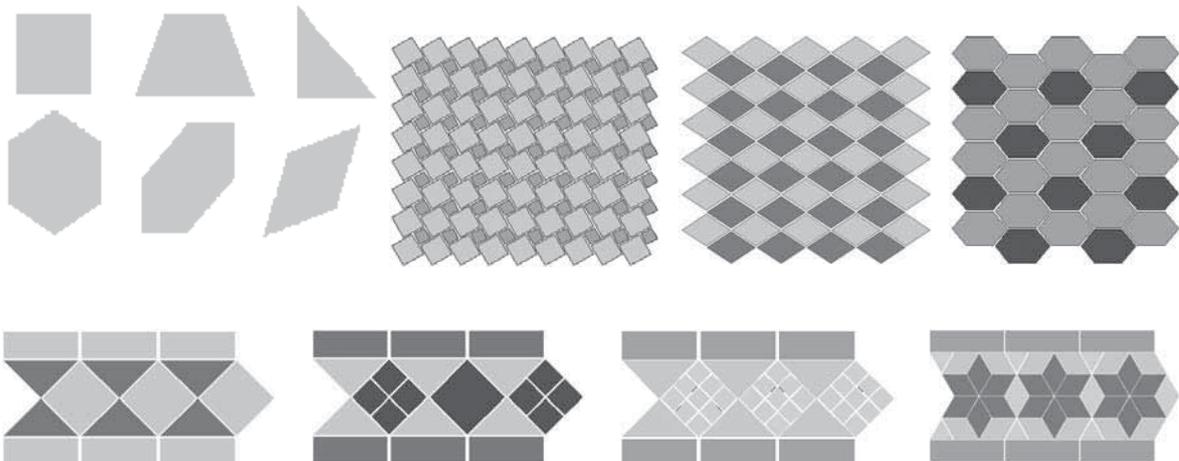


Figura 4: Exemplos de cortes e combinações realizados pela máquina tipo Refilatriz.

Dimensões, peso e consumo de água

Dimensões C x L x A (m)	Peso (kgf)	Consumo de Água (l/min)
2,17 x 1,4 x 1,53	1200	40

Dimensões de usinagem

Permite o corte em tiras de pedras com até 30 cm de largura.

Produtividade

A Produtividade nessas máquinas é variável em função da espessura das pedras, e do número de peças em que serão cortadas. Por exemplo, se for considerado o corte de peças com 30 cm de largura em tiras de 15, 10, ou de 7,5 cm, e uma velocidade média de 2,4 m/min para a correia, a produtividade (em m²/h) será dada conforme a tabela abaixo:

Dimensões das pedras: 30 x 30 cm

Largura das tiras (cm)	Num. de Discos		
	1	2	3
7,5	14,4	21,6	43,2
10	21,6	43,2	-
15	43,2	-	-

Como a velocidade da correia é uma função indireta da espessura e dureza das pedras, os valores acima poderão sofrer variações.

Potência instalada

Considerando que são dotadas de dois motores principais – um de 15 Hp e outro de 1,5 Hp – além de outros equipamentos, como bomba de arrefecimento e componentes do quadro de comando, estima-se para cada uma dessas máquinas uma potência de 13 kw.

CONCLUSÃO

As inovações tecnológicas realizadas na Cadeia Produtiva da Pedra Cariri, estão condicionando diferenciais competitivos para os produtos finais provenientes do seu beneficiamento. Após a implantação das duas unidades tecnológicas a serem construídas em Nova Olinda e Santana do Cariri, os pequenos e médios produtores da Pedra Cariri terão produtos de maior valor agregado, capazes de competir no segmento de pisos e revestimentos da construção civil, com especificações voltadas às novas exigências e tendências do mercado.

Os novos equipamentos oferecem versatilidade para obtenção de um *mix* de ladrilhos, mosaicos e listelos com acabamentos de superfícies variados, de alto valor agregado.

A implantação das duas unidades tecnológicas dará aos pequenos produtores, todas as condições de acesso às novas tecnologias, além da oportunidade de trabalharem em regime de governança cooperativista.

A utilização de máquinas tipo Refilatrizes, favorece a utilização de rejeitos de produção, para produção de artefatos minerais, contribuindo para a conservação e preservação do meio ambiente.

CAPÍTULO 30

EXPLOTANDO CALCÁRIO E SALVANDO FÓSSEIS NA CHAPADA DO ARARIPE

Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Diógenes de Almeida Campos

RESUMO

No desenvolvimento das atividades do Arranjo Produtivo Local (APL) de Base Mineral do Calcário do Cariri Cearense, mais especificamente a exploração da chamada *pedra cariri*, ocorrente nos municípios de Santana do Cariri e de Nova Olinda, chegou-se à análise circunstanciada que envolvia a proteção do patrimônio fossilífero e a exploração mineral. A *pedra cariri* é a denominação informal dos calcários finamente laminados do membro Crato, da formação Santana, do Cretáceo Inferior da bacia do Araripe. Essas rochas contêm um expressivo conjunto de fósseis, que é constituído de vegetais, moluscos, crustáceos, insetos, peixes, anfíbios, répteis e aves, importantes para o conhecimento da vida pretérita do Nordeste brasileiro. A exploração do calcário como pedra de revestimento para uso na construção civil vem sendo realizada há mais de 30 anos e envolve cerca de sessenta produtores nos dois municípios, englobando diretamente 800 trabalhadores, gerando mais de 3.000 empregos indiretos. Na vigência das atividades do APL, a partir de 2005, foram criadas ações que permitiram um grande avanço nas técnicas de retirada das lajes de calcário e de seu aproveitamento, bem como intensificação da infra-estrutura (estradas, água e energia elétrica) como contrapartida do Estado. Como a concessão de lavra inclui somente a extração do calcário, pois os fósseis, que têm interesse científico, são patrimônio da União, tornou-se necessário que essa questão ficasse acordada entre os produtores, uma vez que a exploração ilegal de fósseis tem ocorrido na região. Precisava-se, dessa forma, deixar muito claro que a exploração mineral na área do APL do Calcário Cariri não implicava em dano ao patrimônio paleontológico. Por outro lado não havia sentido em interromper uma atividade produtiva, de importância para a subsistência local e que, também, promovia o aparecimento de novos fósseis que seriam depositados em instituições científicas. Para isto, no decorrer da implantação do APL, foram ministrados pelo Museu de Ciências da Terra do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), com o apoio da Universidade Regional do Cariri (URCA), cursos, palestras e seminários de conscientização do valor dos fósseis, bem como de técnicas de coleta e de proteção dos mesmos. Além disso, em comum acordo com o Ministério Público Federal, foram realizadas reuniões com os órgãos fiscalizadores, incluindo representantes de diversas unidades do DNPM, com o objetivo de se estabelecer um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), visando a um compromisso formal entre as partes envolvidas. Esse Termo foi apresentado aos mineradores da *pedra cariri*, que se comprometeram a assiná-lo. Dentre as exigências que são de responsabili-

¹ Coordenador-geral do Projeto APL Calcário Cariri. CETEM/MCT. fhollanda@cetem.gov.br

dade dos mineradores está a de promover o estudo paleontológico das frentes de lavras, bem como a apresentação de um relatório desse estudo, que deverá ser aprovado pelo DNPM.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal a apresentação das ações realizadas pelo Arranjo Produtivo Local de Base Mineral – APL Calcários do Cariri, para preservação e conservação do patrimônio fossilífero do membro Crato que está sendo explorado nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, Ceará. Visa, ainda, a contribuir com o geoturismo, aliado à divulgação e à preservação desse patrimônio paleontológico.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A região que delimita a bacia do Araripe (figura 1) tem sido alvo, ao longo dos últimos 30 anos, de estudos, em escala regional e local, com resultados e reflexos na relativa uniformidade conceptual de sua formação e origem. Esses estudos têm facilitado os demais trabalhos de cunho local, elaborados com a finalidade de se obter dados para o aproveitamento econômico de algumas das formações que compõem o pacote sedimentar.

Na análise estratigráfica, adotou-se a proposta apresentada por Beurlen (1971), a qual consagra a nomenclatura das rochas regionais, balizando também, com o trabalho de Ponte & Ponte-Filho (1996), principalmente no que diz respeito à posição cronostratigráfica das camadas. Convém lembrar que na definição dos geótopos do Geopark Araripe, foi utilizada uma proposta estratigráfica que conjuga as propostas de Martill et alii (1993) e Ponte & Ponte-Filho (1996), conforme mostrado na figura 2.

Com relação às rochas do embasamento cristalino, serão elas citadas, apenas para completar a coluna estratigráfica regional, tendo em vista sua pouca importância no contexto circunscrito ao local de interesse.

Embasamento Cristalino

A bacia do Araripe, de acordo com Ponte & Ponte-Filho (1996: 25), está instalada na província Borborema, uma feição tectônica regional, pré-cambriana, dominada por intensos dobramentos, segmentada por grandes lineamentos e intrudida por batólitos ígneos, em sua maioria do tipo granitóide.

Dentre os principais sistemas de lineamentos que cortam a província da Borborema, destaca-se, ainda segundo Ponte & Ponte-Filho (1996: 25), a zona Transversal, na qual a bacia do Araripe está encaixada. Essa feição estrutural é uma extensa zona de falhas e alinhamentos estruturais, que se estende na direção leste-oeste desde o litoral da Paraíba e de Pernambuco até o Piauí, onde é recoberta pelas rochas sedimentares da bacia do Parnaíba. É limitada ao sul pelo lineamento de Floresta ou de Pernambuco e, ao norte, pelo de Patos ou da Paraíba.

Bacia Sedimentar

Localizada em partes dos estados do Ceará, Pernambuco, Piauí e Paraíba, a bacia do Araripe (figura 1) é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, com área de 9.000 km²,

disposta na direção leste-oeste por cerca de 180 km e 70 km norte-sul, no seu trecho mais largo.

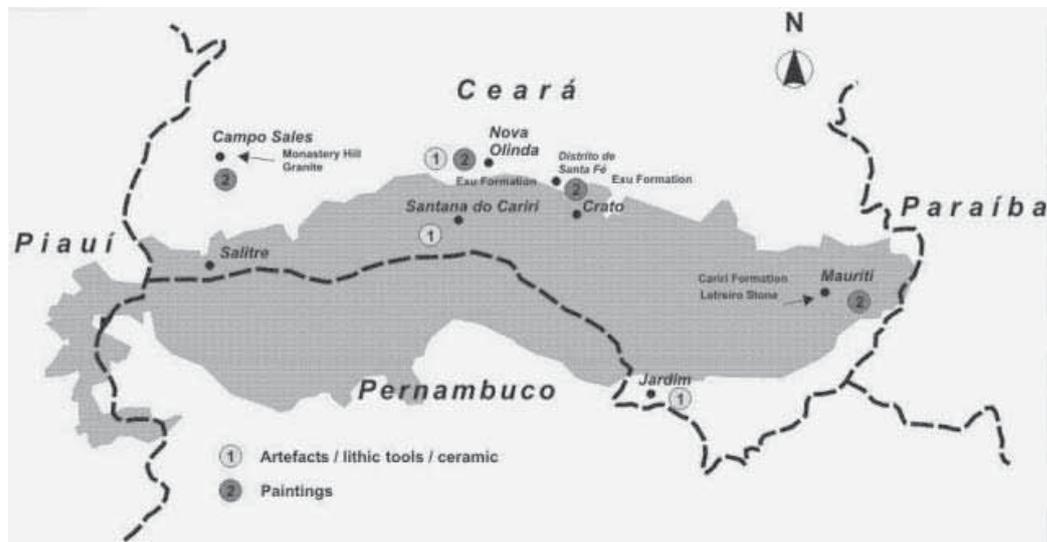


Figura 1: Bacia do Araripe

Sua origem está relacionada ao evento da abertura do oceano Atlântico Sul, seguido de movimentação tectônico-magmática que dividiu o supercontinente Pangéia, possibilitando a formação de grandes depressões tafrogenéticas, ocupadas por deposições de seqüências mesoceânicas.

A arquitetura da bacia do Araripe propriamente dita pode ser descrita como sendo formada por dois grandes pacotes de rochas superpostos, com estilos estruturais muito diversos. Na parte inferior, encontram-se rochas de origem tafrogenética, encravadas no embasamento. No pacote superior, encontra-se uma cobertura tabular, subhorizontal, cobrindo em discordância tanto as sub-bacias do tipo rifte, como as áreas adjacentes do embasamento.

Paleozóico

Coube a Small (1913, 1914) o primeiro estudo geológico da bacia do Araripe, posicionando arenitos conglomeráticos sobrepostos ao embasamento cristalino. Esses arenitos foram denominados por Beurlen (1962, 1963) como formação Cariri e, por Anjos (1963) como formação Mauriti.

Esses arenitos ocorrem em afloramentos entre as cidades de Juazeiro do Norte e Milagres com espessura variando entre 25 a 50 m, descritos como arenitos conglomeráticos feldspáticos, branco-amarelados, localmente silicificados, fraturados, apresentando estratificação cruzada, com granulação média a grossa.

Embora a idade da unidade venha sendo considerada como do Devoniano, Ponte & Ponte-Filho (1996: 27) consideram a formação Cariri (ou Mauriti) como do Ordoviciano-Siluriano, por estar correlacionada em parte à formação Ipu, do grupo Serra Grande, a partir de dados palinológicos. Na verdade, esses arenitos conglomeráticos podem ser mais bem posicionados como fazendo parte do embasamento que propriamente da coluna estratigráfica da bacia do Araripe.

Zona de riftes

A estruturação de estilo rifte, na bacia do Araripe, resulta do tectonismo tafrogênico eocretáceo (andar Bahiano, Cretáceo Inferior), conhecido como Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967) ou evento Sul-Atlântico (Schobbenhaus et alii, 1984). As evidências desse tectonismo encontram-se expostas, em superfície, na parte nordeste, leste e sudeste da bacia, especialmente, na borda leste da sub-bacia do Cariri, como denominada por Ponte & Ponte-Filho (1996: 33). Em seu conjunto configuram uma zona de riftes (segundo definição de Rosendahl, 1987), com aproximadamente 170 km de comprimento, na direção leste-oeste e uma largura variável de 30 a 50 km.

O preenchimento sedimentar da zona de riftes do Araripe é feito por sedimentos de idade donjoaniana e bahiana, tendo como parte do embasamento os arenitos conglomeráticos paleozóicos. A primeira referência a parte dessas rochas sedimentares foi feita por Small (1913) que os englobou como *arenitos inferiores*.

São compostos por arenitos intermediários, tendo na base arenitos conglomeráticos, cinza-avermelhados, imaturos, com fragmentos de feldspatos e rochas do embasamento, ora dispostos caoticamente, ora apresentando granodecrescência ascendente, que gradam para arenitos finos lenticulares, carbonáticos com estratificação cruzada.

Beurlen (1963) chamou de formação Missão Velha, exposições ao longo da porção leste da bacia. Constituídas predominantemente por arenitos argilosos, vermelhos, friáveis, sem silicificação, com lenhos silicificados.

Caldasso (1967) considerou como formação Missão Velha apenas os arenitos da parte superior da formação Missão Velha (*sensu* Beurlen, 1963), estabelecendo correlação com a formação Sergi da bacia do Recôncavo, dado às semelhanças litológicas e à presença de lenhos fósseis.

Nos trabalhos de Assine (1992), o autor restringe as rochas da formação Missão Velha a um pacote de espessura de 200 m, composto somente de arenitos com troncos silicificados, sobrejacentes aos folhelhos da formação Brejo Santo.

A litologia da formação Missão Velha apresenta na base arenitos conglomeráticos, cinza-avermelhados, com fragmentos de feldspato e rochas do embasamento cristalino. Na porção intermediária, passa a arenitos finos lenticulares, carbonáticos, com estratificação cruzada. O topo da formação desenvolve folhelho arenosoossilífero, cinza-esverdeado, carbonático e friável.

Arenitos conglomeráticos encontrados em exposição a sudoeste de Nova Olinda nas localidades de Angico e Sítio Beleza podem, também, ser considerados como incluídos na formação Missão Velha. Apresentam coloração cinza e avermelhada, matriz fina, com quartzo e feldspato róseo, que se apresenta alterado na forma de caulim, formando pequenas massas esbranquiçadas.

As rochas da formação Missão Velha, de idade donjoaniana, são capeadas pelos estratos da formação Abaiara, de idade bahiana.

Coberturas sedimentares pós-rifte

Estratos sedimentares de idade cretácea, de comportamento tabular, em atitudes quase horizontais, formam a chapada do Araripe, na bacia homônima. Essas camadas sedimentares são posteriores à reativação Sul-Atlântica e ao vulcanismo eocretáceo, limitadas na base por uma discordância regional, de idade pré-aptiana. Segundo Ponte (1996) e Ponte & Ponte-Filho (1996), incluem, na bacia do Araripe, o grupo Araripe, que compreende o registro estratigráfico de um ciclo deposicional, transgressivo-regressivo completo, formando três sistemas de deposição distintos: 1) o sistema flúvio-lacustre-carbonático, neo-aptiano-eoalbio, englobando a formação [Rio da] Batateira² e o membro Crato da formação Santana; 2) o sistema transicional, evaporítico e litorâneo, mesoalbio, incluindo os membros Ipubi e Romualdo, da formação Santana e a formação Arajara; e 3) o sistema fluvial anastomosado e meandrante, neoalbio-cenomaniano (?), constituído pela formação Exu.

Os primeiros estudos referentes à formação Santana foram desenvolvidos por Small (1913), que denominou calcário Santana à seqüência de margas e calcários confinados entre duas seqüências de arenitos e tendo como base rochas conglomeráticas.

Beurlen (1962) propôs a subdivisão da formação Santana, porém sem atribuir nomes, identificando os calcários inferiores laminados, a gipsita e, no topo, os calcários superiores margosos.

Beurlen (1963) modificou sua argumentação anterior, após a descrição da formação Crato sobtoposta à formação Santana. Essa última formada, agora, por um pacote de gipsita, sobreposto por margas e argilas, com intercalações de concreções calcárias.

Beurlen (1971), em sua última proposta de classificação estratigráfica, sugeriu nova alteração, numa tentativa de unificar uma nomenclatura mais abrangente para a formação Santana, subdividindo-a em três membros, do inferior ao superior: Crato, constituído de calcário e siltitos laminados; Ipubi, constituído de gipsita, calcários e margas, fossilífero; e Romualdo, formado por argilas, siltitos com conostráceos e *Craginia*.

Membro Crato

Os calcários laminados fossilíferos, de cor predominante amarela a creme, mas em alguns pontos cinza, que constituem o membro Crato, estão em contato inferior gradual com os folhelhos interestratificados da formação Missão Velha e no topo com os evaporitos do membro Ipubi (gipsita). Em estratos milimétricos a centimétricos podem atingir, na região, uma espessura de 16 m e desenvolvem estratificação plano-paralela horizontal em todo o pacote.

Posicionados no topo da unidade, em contato com as camadas de gipsita, ocorrem folhelhos pirobetuminosos de cor preta, carbonatados, fossilíferos, com odor peculiar, com espessura podendo atingir 4 m.

² Atendendo a recomendações do Código de Nomenclatura Estratigráfica, utiliza-se, neste artigo, Batateira em lugar de Rio da Batateira, evitando, assim, o uso do termo geográfico *rio*.

Membro Ipubi

Posicionada acima dos calcários do membro Crato, encontra-se uma seqüência de evaporitos (gipsita), podendo atingir, na região, uma espessura de até 30 m. A gipsita apresenta-se, geralmente, de cor branca a cinza-claro, maciça e fibrosa.

Segundo Ponte (1992), no entanto, esse membro corresponde ao que se convencionou chamar da Seqüência *Pós-rifte*, de sistema transicional evaporítico e marinho raso.

Membro Romualdo

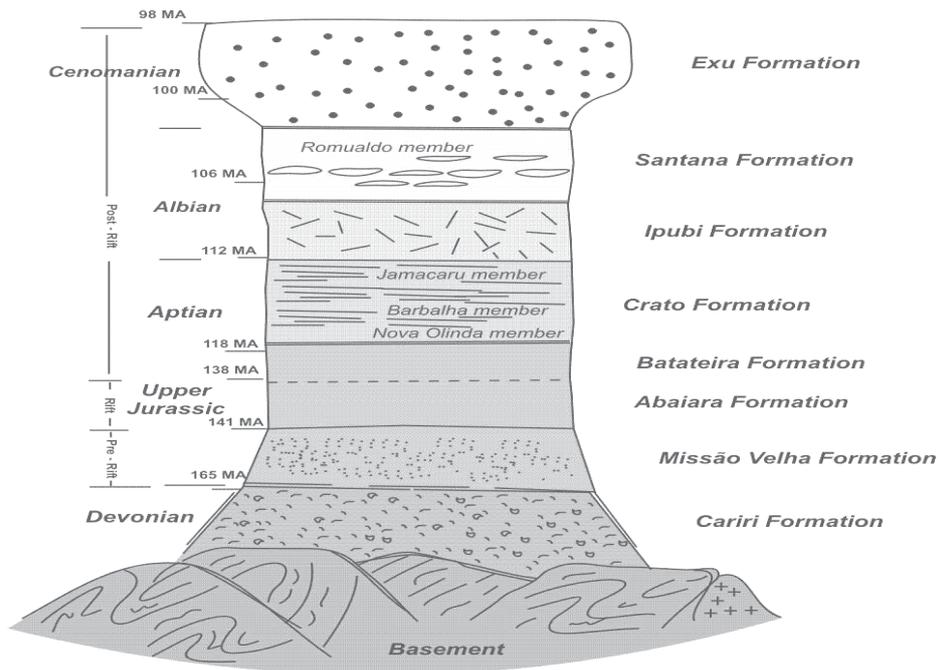
Os folhelhos carbonáticos de laminação plano-paralela, de cor cinza a verde, com concreções carbonáticas, do membro Romualdo estão depositados sobre os evaporitos do membro Ipubi, com intercalações de camadas de calcário, margas, e arenitos. Hospeda grande quantidade e variedade de fósseis, os quais são representados por bivalvíos, gastrópodos, ostracodes, insetos, arácnidos, equinóides, peixes, répteis (tartarugas, crocodilianos, pterossauros e dinossauros) e aves, além de vegetais (figura 3).

Formação Exu

Beurlen (1962) atribuiu ao *arenito superior* de Small a denominação formação Exu, que capeia todo o pacote sedimentar da bacia do Araripe. Sua posição no topo de toda a chapada com espessura de até 300 m corresponde a um arenito de cor avermelhada, matriz argilosa e cimento silicoso, textura fina à grossa, com seixos de quartzo de até 8 cm de diâmetro maior. Apresenta estratificação cruzada de médio porte do tipo acanalada e tangencial com 7 a 8 m de extensão e 60 cm de espessura.

Depósitos cenozóicos

São encontrados depósitos de tálus constituídos de seixos rolados e matacões originários do arenito Exu, com distribuição irregular ao longo do sopé de toda a chapada. Registra-se, ainda, depósitos aluvionares, restritos ao leito do rio Cariús e seus afluentes, recobrando, em parte, os calcários laminados do membro Crato.



Stratigraphic scheme used for the sediments of the Araripe Basin (based on Martill, 1993 *et al.* and Ponte e Pontes Filho, 1996).

Figura 2: Coluna estratigráfica da bacia do Araripe.

Paleontologia do membro crato

Os calcários laminados do membro Crato são muito fossilíferos, possuindo uma grande variedade de fósseis representados por plantas, que incluem pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, além de moluscos, crustáceos, arácnidos, insetos, peixes, anfíbios (Kellner & Campos, 1986), répteis e aves (figura 3).

Existem elementos suficientes para se acreditar que os mais antigos exemplares de plantas com flores estejam representados nos estratos do membro Crato. São encontradas também inúmeras formas de transição entre as gimnospermas e as angiospermas (cf. Dilcher *et alii*, 2005). Dentre os insetos, destacam-se as libélulas em excelente estado de conservação e entre os peixes, tem-se, principalmente, a espécie *Dastilbe elongatus*. Pterossauros (Campos & Kellner, 1997a) e dinossauros (Campos & Kellner, 1997b) têm sido encontrados, também, no membro Crato.

O conhecimento sobre os pterossauros do Araripe, incluindo a espécie *Tupandactylus imperator*, encontrada nos calcários do membro Crato, tem sido de grande importância para a compreensão da sistemática das formas encontradas no Nordeste da China (Kellner & Campos, 2007).

GEOLOGIA ECONÔMICA

Das unidades anteriormente mencionadas a que dispõe de rochas carbonáticas relativamente espessas e em grande quantidade é a Formação Santana. Nas áreas pesquisadas, os sedimentos da Formação Santana representam, em termos percentuais, mais de 80% dos litótipos. Nesta unidade é onde se localizam as frentes de lavra (talhados).

Os calcários laminados que constituem o membro Crato da formação Santana (Beurlen, 1963), finalizam o último ciclo granodecrescente da formação Missão Velha, numa passagem gradual de folhelhos interestratificados a calcários laminados, amarelos a creme, muito duros, fossilífero, apresentando dendritos, de óxido de manganês e calcita recristalizada, com subordinadas intercalações de folhelhos cinza-esverdeado, calcífero, laminado e friável.

Os sedimentos desse membro afloram em relevos de colinas alongadas de topo plano e flancos escarpados, em média com 5 a 15 m de altura, com melhores exposições em locais já trabalhados.

O “matracão” trata-se de denominação popular usada pelos trabalhadores das frentes de lavra (“talhados”) para camadas localizadas entre os estratos de calcário laminado, com espessura variando de 10 a 30 cm.

Macroscopicamente apresenta coloração creme escura a marrom maciça, cimento silicoso, laminação plano-paralela, com textura fina a média. Atualmente esse material é utilizado no artesanato mineral, para a confecção de mesas, divisórias, etc.

Por apresentar elevada impermeabilidade, é usado como indicação de que, o calcário laminado abaixo apresenta pouca alteração, resultando num produto final de boa qualidade e melhor aceitação no mercado.

Nos trabalhos de deslocamento do calcário laminado feito com o auxílio de alavancas, marretas, cunhas e outros utensílios, o “matracão” não é aproveitado. Isso ocorre devido à dificuldade no seu desdobramento para obtenção de lajotas.

A descrição dos métodos de lavra e de beneficiamento utilizados na região tanto antes como depois do início do APL, bem como um levantamento da situação atual das atividades, pode ser encontrado em Oliveira (1998) e Vidal (2007).

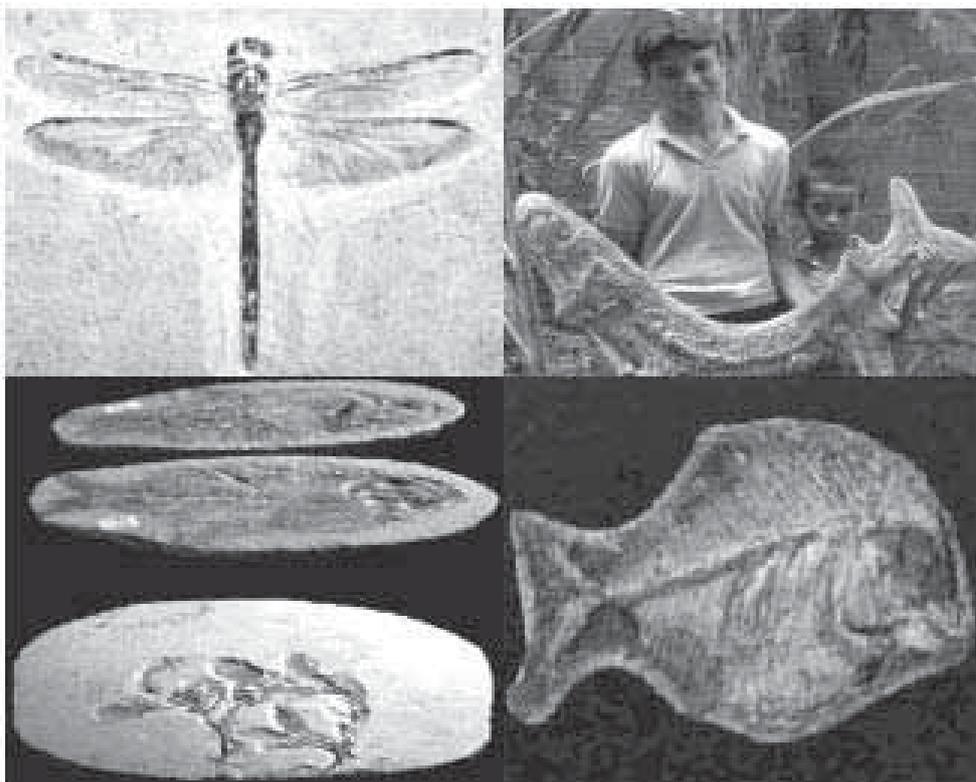


Figura 3: Fósseis da bacia do Araripe. Insetos e vegetais do membro Crato (alto e baixo, à esquerda); peixes do membro Romualdo (meio, à esquerda e alto e baixo, à direita)

Ações relativas à proteção ao patrimônio fossilífero

A exploração do calcário, como pedra de revestimento para uso na construção civil, vem sendo realizada há mais de 30 anos e envolve cerca de sessenta produtores nos dois municípios, englobando diretamente 800 trabalhadores, gerando mais de 3.000 empregos indiretos.

Na vigência das atividades do APL, a partir de 2005, foram criadas ações que permitiram um grande avanço nas técnicas de retirada das lajes de calcário e de seu aproveitamento, bem como intensificação da infra-estrutura (estradas, água e energia elétrica) como contrapartida do Estado.

Como a concessão de lavra inclui somente a extração do calcário, pois os fósseis, que têm interesse científico, são patrimônio da União, tornou-se necessário que essa questão ficasse acordada entre os produtores, uma vez que a exploração ilegal de fósseis tem ocorrido na região. Precisava-se, dessa forma, deixar muito claro que a exploração mineral na área do APL do Calcário Cariri não implicava em dano ao patrimônio paleontológico, devido ao relevante interesse científico no conteúdo paleontológico dessas rochas do membro Crato (figura 4). Por outro lado não havia sentido em interromper uma atividade produtiva, de importância para a subsistência local e que, também, promovia o aparecimento de novos fósseis que seriam depositados em instituições científicas.

No decorrer da implantação do APL foram promovidos cursos de capacitação de guias turísticos, educação ambiental e artesanatos minerais, palestras e seminários de conscientização do valor dos fósseis, bem como de técnicas de coleta e de proteção dos mesmos.

Além disso, em comum acordo com o Ministério Público Federal, realizou-se audiências públicas com os órgãos fiscalizadores (DNPM, IBAMA e SEMACE), com apoio da URCA e do CETEM, na presença dos mineradores da *pedra cariri*, com o objetivo de se estabelecer um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), visando a um compromisso formal entre as partes envolvidas. O DNPM participou dessas reuniões através de representantes do 10º Distrito (tanto do CPCA, em Crato, como de Fortaleza), da Diretoria de Fiscalização e do Museu de Ciências da Terra.

Dentre as exigências que são de responsabilidade dos mineradores está a de promover o estudo paleontológico das frentes de lavras, bem como a apresentação de um relatório desse estudo, que deverá ser aprovado pelo DNPM.

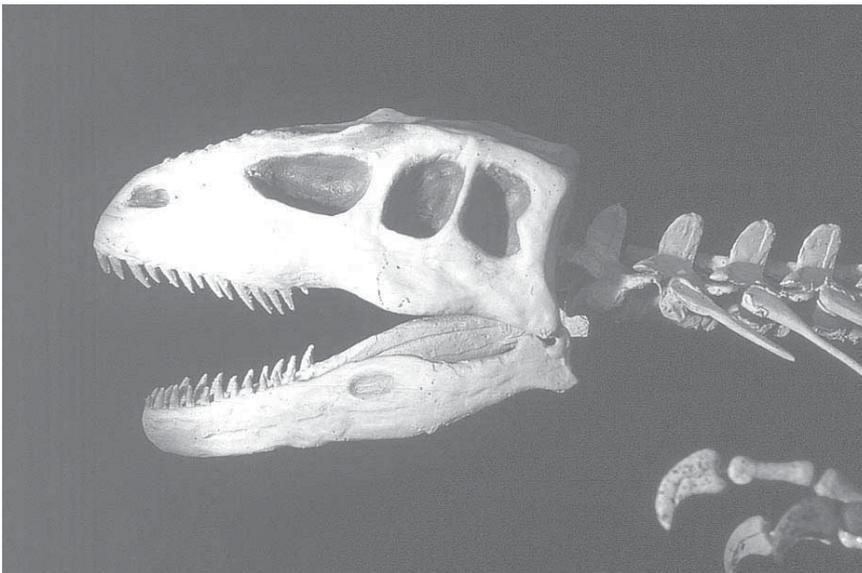


Figura 4: Reconstituição *Santanaraptor*, um dinossauro da formação Santana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. *Boletim [da] Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n. 236, 1967
- ANJOS, N. F. R. Geologia de Ipubi, Pernambuco. Recife: *Boletim [da] Escola de Geologia*, Recife, n. 3, p. 49-51, 1963.
- ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da bacia do Araripe. *Revista Brasileira de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 22, p. 289-300, 1992.
- BEURLEN, K. A geologia da chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 365-370. 1962
- BEURLEN, K. Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 17., Recife, 1963. *Anais...* 1963. 47 p. (Suplemento)
- BEURLEN, K. As condições ecológicas e faciológicas da formação Santana na chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 43, suplemento, 1971. p. 411-415.

- CALDASSO, A. L. S. Geologia da quadrícula 094E – Folha Crato. *Série Geologia Regional, SUDENE*, Recife, n. 4, 47 p., 1967.
- CAMPOS, D. A.; KELLNER, A. W. A. Short note on the first occurrence of Tapejaridae in the Crato Member (Aptian), Santana Formation, Araripe Basin, Northeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 69, n. 1, p. 83-87, 1997a.
- CAMPOS, D. A.; KELLNER, A. W. A. Fossilized soft tissue preservation in the Lower Cretaceous of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 69, n. 1, p. 145-146, 1997b.
- DILCHER, D. L. BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E.; PONS, D.; LOTT, T. A. Welwitschiaceae from the Lower Cretaceous of Northeastern Brazil. *American Journal of Botany*, v. 92, p. 1294-1310, 2005.
- KELLNER, A. W. A.; CAMPOS, D. A. Primeiro registro de Amphibia (Anura) no Cretáceo Inferior da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 4, p. 610, 1986.
- KELLNER, A. W. A.; CAMPOS, D. A. Short note on the ingroup relationships of the Tapejaridae (Pterosauria, Pterodactyloidea). *Boletim do Museu Nacional, N.S., Geol.*, Rio de Janeiro, n. 75, p. 1-14, out. 2007.
- MARTILL, D. M.; BRITO, P. M.; WENZ, S.; WILBY, P. R. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. In: JARZEMBOWSKI, E. A., ed. *Palaeontological Association field guides to fossils*. London: Palaeontological Association, 1993. v. 5, 159 p.
- 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).
- PONTE, F. C. Origem e evolução das pequenas bacias cretácicas do interior do Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁICAS BRASILEIRAS, 2., Rio de Janeiro, 1992. *Resumos expandidos*. [s.l.]: UNESP, 1992. p. 55-58.
- PONTE, F. C. Arcabouço estrutural da bacia do Araripe. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., Águas de São Pedro, 1996. *Boletim...* [s.l.]: UNESP, 1996. p.169-177.
- PONTE, F. C.; PONTE-FILHO, F. C. *Estrutura geológica e evolução tectônica da bacia do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 68 p.
- ROSENDAHL, B. R. Architecture of continental rifts with special reference to East Africa. *Ann. Rev. Earth Planetary Science Letters*, v. 15, p. 445-503, 1987.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. *Geologia do Brasil*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984. xxi + 501 p.
- SMALL, H. L. *Geologia e supprimento d'água subterranea no Ceará e parte do Piauhy*. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Seccas, 1913. 81 p. (Série I.D., Boletim, 25.)
- SMALL, H. L. *Geologia e supprimento d'água subterranea no Piauhy e parte do Ceará*. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Seccas, 1914. 169 p. (Série I.D., Boletim, 32.)
- VIDAL, F. W. H. Projeto Plataforma Tecnológica do Calcário da Pedra Cariri. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2007.

CAPÍTULO 31

PEDREIRA-ESCOLA: UMA EXPERIÊNCIA INOVADORA

Hélio Carvalho Antunes de Azevedo¹, Francisco Wilson Hollanda Vidal

RESUMO

A Pedreira Escola é um projeto iniciado em abril de 2001, que objetiva promover a formação, treinamento e aperfeiçoamento de mão-de-obra operacional, gerencial e empresarial, bem como a pesquisa geológica e o desenvolvimento tecnológico visando o segmento de extração de rochas ornamentais. É um projeto do Governo do Estado da Bahia, através da Companhia Baiana de pesquisa Mineral – CBPM, em parceria com o Governo Federal, através do Centro de Tecnologia Mineral, com apoio do SIMAGRAN – Bahia e suporte internacional do Programa CYTED – *Programa Iberoamericano de ciencia y Tecnologia para el Desarrollo*. Em agosto de 2002 foi inaugurada a sede da escola e em dezembro do mesmo ano finalizada a preparação da pedreira (acessos, áreas de estocagem e movimentação de blocos e rejeitos, instalações auxiliares e abertura da primeira frente de lavra em uma jazida cedida pela Mineração Corcovado. O material produzido na pedreira é denominado granito *Beija-flor*, e trata-se de uma rocha migmatítica que possui uma boa penetração no mercado. Nessa jazida acontecem a demonstração e aprendizado prático de técnicas de pesquisa de jazidas, extração de blocos, incluindo neste contexto, o mapeamento de detalhe da jazida, a abertura e o desenvolvimento de frentes de lavra, a operação e a manutenção de equipamentos, demonstração de novas tecnologias, além das técnicas de segurança e higiene no trabalho e de aspectos ambientais. Espera-se que esta pedreira sirva de modelo para outras, não apenas no Brasil, mas também, em outros países ibero-americanos. Os treinamentos da Pedreira-Escola, em caráter experimental, foram iniciados em março de 2003, com o curso Planejamento de Lavra de Rochas Ornamentais. A partir de julho de 2003 até abril de 2007 foram realizados 20 (vinte) cursos essencialmente práticos, beneficiando 238 participantes, englobando, desde empresários, engenheiros de minas, geólogos, técnicos de mineração, estudantes e operários, onde 65 destes profissionais foram absorvidos pelo mercado de trabalho. Diversas empresas fabricantes de equipamentos e insumos vem colaborando na efetivação dos cursos.

1 Geólogo da Cia. Baiana de Pesquisa e Mineração. E-mail: hazevedo@cbpm.com.br

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais e teve em 2001 uma produção de 5,2 milhões de toneladas, com cerca de 500 variedades comerciais. A maior parte dessa produção está localizada na região sudeste do país, principalmente nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, com uma indústria mais desenvolvida para o setor. Destaca-se, ainda, pelas suas imensas reservas e pela variedade e beleza cromática de seus materiais, especialmente granitos.

O Estado da Bahia é também um dos grandes produtores nacionais. Nestes últimos 11 anos, o continuado apoio do governo do estado ao setor, atuando em parceria com as empresas produtoras, levou a Bahia a ocupar o 3º lugar na produção nacional de granitos e a se firmar como um dos principais exportadores do país. De fato, dois terços do seu território de 560 mil km² são extremamente favoráveis à prospecção e pesquisa de granitos, o que, aliado ao bom nível de conhecimento geológico disponível, às boas condições de infra-estrutura básica e à diversidade de rochas e de tipos comerciais em produção, tornam a Bahia um local atraente para investimentos neste setor.

De modo diferente ao que ocorre nos outros estados, de destacada importância no setor de rochas ornamentais, em particular o estado do Espírito Santo, os indicadores oficiais registram um pequeno número de empresas de beneficiamento de mármore e granitos atuando no estado, e um número modesto de teares e talha-blocos (inferior a 60), demonstrando, dessa forma, ser a Bahia um mero produtor e exportador de blocos brutos, e ainda assim em quantidades muito aquém das possíveis, pela capacidade de extração das empresas operantes e pela potencialidade geológica existente.

Esse cenário é aplicável a muitos outros estados do Brasil, não apenas ao da Bahia. As causas desse cenário são variadas, desde a falta de investimentos privados às carências de tecnologia de pesquisa geológica e de desenvolvimento tecnológico, à falta de conhecimentos das atividades de mineração e pesquisas específicas sobre as técnicas de lavra aplicáveis às rochas ornamentais, à falta de utilização de equipamentos modernos e, especificamente, à falta de mão-de-obra qualificada, operacional, gerencial e até mesmo empresarial para o setor.

OBJETIVOS

Em consonância com a imensa potencialidade do estado da Bahia para a exploração e a produção de rochas ornamentais, bem como a grande variedade cromática de suas rochas, fator de atratividade para investimentos privados, e em parcerias com: o SIMAGRAN - Sindicato dos Produtores de Mármore, Granitos e Similares do Estado da Bahia, a Mineração Corcovado e o CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, a CBPM implantou e opera, na região de Ruy Barbosa, maior pólo produtor de granitos da Bahia, o Projeto Pedreira-Escola, que tem dentre outros, os seguintes objetivos:

- Formar e capacitar mão-de-obra operativa, técnica e gerencial para o setor de rochas ornamentais baiano e brasileiro;
- Pesquisar e incorporar inovações tecnológicas no campo da extração de rochas ornamentais;

- Tornar-se um laboratório de estudos conjuntos com universidades e centros de pesquisa, nacionais e internacionais, no campo de rochas ornamentais;
- Proporcionar aos fabricantes de equipamentos e empresas de serviço um local apropriado para demonstração de utilização de novas tecnologias e equipamentos na extração, manuseio e aparelhamento de blocos de rochas ornamentais.

A aplicação destes objetivos ,como já enfatizado, transcende a Bahia, pretendendo, através de parcerias e solicitações, abrigar ações, estudos, pesquisas e treinamentos para o setor nacional de rochas ornamentais.

INFRA-ESTRUTURA

No seu estágio atual, o Projeto obteve os seguintes resultados:

- Detém uma jazida de granito, (granito Beija Flor), distante 15 km da sede do projeto, cedida pela Mineração Corcovado, preparada em sua infra-estrutura básica com o auxílio do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e com painéis de exploração abertos e formatados para os treinamentos práticos;
- Já adquiriu seus equipamentos básicos (máquina de fio diamantado Marini, perfuratrizes pneumáticas manuais, perfuratrizes pneumáticas de coluna, sonda rotoperçussiva boart longyear, jet flame, compressores de 360 e 930 pcm, grupo gerador, lança para movimentação de blocos, além de viaturas);
- Dispõe de instalações construídas na cidade de Ruy Barbosa, totalizando 800m², compreendendo: prédio 1 - gerência e oficinas; prédio 2 - hospedaria, refeitório, salas de aula, biblioteca e sala de lazer;
- Dispõe ainda de uma programação básica de cursos e treinamentos, estruturada e estabelecida em sintonia com as necessidades manifestadas pelos empresários do setor.

CURSOS E SEMINÁRIOS

Os cursos da pedreira-escola são profissionalizantes nas diferentes atividades de pesquisa, planejamento de lavra e funções de operação de uma pedreira de rochas ornamentais, e estabelecidos de acordo com as sugestões e necessidades manifestadas pelas empresas e entidades do setor de rochas ornamentais.

Estes cursos tem curta (40 horas) e média duração (100-300 horas), e buscam não somente a formação de operadores e encarregados de manutenção de equipamentos, como também técnicos, gerentes e empresários para o setor.

As aulas são ministrados por uma equipe técnica de instrutores constituída por geólogos e engenheiros de minas com larga experiência em mineração e extração de rochas ornamentais e por instrutores disponibilizados por parceiros fabricantes de equipamentos como ATLAS Copco, Chicago Pneumatic, Sandvik, Boart Longyear, entre outros.

O programa dos cursos são semelhantes os de especialização de universidades nacionais e dispões de parcerias e ações conjuntas com centros de pesquisas nacionais e internacionais.

As atividades de treinamento da Pedreira-Escola, em caráter experimental e piloto, iniciaram-se em março de 2003 com o curso: PLANEJAMENTO DE LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (10 - 14 março 2003) e continuaram com o primeiro curso público sob o título de: OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS E DE SISTEMAS DE PERFURAÇÃO PNEUMÁTICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Este último curso experimental enfocou a operação e a manutenção de equipamentos e sistemas de perfuração de rochas ornamentais, profissionalizou perfuradores de rochas e encarregados de manutenção de equipamentos e sistemas, teve 300 horas de duração sendo: 200 horas de práticas e 80 horas de ensinamentos teóricos complementados com testes e avaliações práticas e teóricas. Foi realizado na cidade de Ruy Barbosa, nas instalações da pedreira-escola e na jazida de granito Beija-Flor, no período de 15 de julho a 28 de setembro, com uma frequência de 18 aprendizes nos módulos I e II e 9 aprendizes (técnicos) no seu módulo III, este mais especializado e dedicado à avaliação de custos e rendimentos e à utilização de sistemas computacionais de análise.

De acordo com o plano temático e programação estabelecidas para o biênio 2004/2005, na fase inicial, os cursos abrangeram os seguintes temas:

Área I: Pesquisa Geológica & Estudos de Viabilidade & Planejamento de Lavra

- Prospecção e Pesquisa de Áreas para Exploração de Rochas Ornamentais.
- Análise da Viabilidade Técnico-Econômica de Exploração e de Lavra de Granitos.
- Planejamento de Lavra de Granito.
- Mecânica de Rocha Aplicada à Lavra de Rochas Ornamentais.
- Amostragem Industrial em Áreas de Granito - Viabilização da Exploração Racional.
- Detecção e Análise de Fraturas por Ultra-som e Radar Penetrante (GPR).

Área II: Produção de Rochas Ornamentais

- Metodologias e Técnicas na Produção de Rochas Ornamentais.
- Abertura e Desenvolvimento de Frentes de Lavra de Granitos.
- Processos e Técnicas Especiais de Extração de Rochas Ornamentais.
- Operação e Manutenção de Equipamentos.

Básicos:

- 1 - Grupos Geradores; 2 - Compressores; 3 - Perfuratrizes Pneumáticas (Marteletores Portáteis); 4 - Perfuratrizes de Coluna; 5 - Sonda Rotativa - Boart Longyear; 6 - Lança de Movimentação de Blocos (Pau de Carga).

Operação e Manutenção de Equipamentos de Corte e Extração de Rochas Ornamentais: 1 - Máquina de Fio Diamantado; 2 - Jet Flame.

- Operação e Manutenção de Equipamentos de Movimentação e Transporte de Blocos e Rejeitos: 1 - Pá-Carregadeira; 2 - Trator de Esteira; 3 - Eletricidade Básica de Circuitos Operativos e Mecânica de Prevenção e Conservação de Equipamentos.

Área III: Administração & Gestão & Saúde e Segurança.

- Planejamento e Gestão de Empreendimentos de Extração de Rochas Ornamentais
- Elaboração do Plano de Negócios
- Administração de Pedreiras e Gerência de Produção
- Saúde e Segurança do Trabalho
- Legislação e Gestão Ambiental

Área IV: Atividades e Treinamentos Especiais & Pesquisas Aplicadas

- Seminários e Sinopses de Treinamentos para Empresários e Técnicos.
- Demonstração de Novas Técnicas & Equipamentos e de Materiais & Insumos.
- Cursos e Demonstrações Itinerantes de Técnicas & Equipamentos & Materiais.
- Pesquisas Aplicadas.

Cursos e seminários realizados em 2003 – 2006.

- Curso/Planejamento de Lavra de Rochas Ornamentais. Período: 18/03 a 22/03 - Carga horária: 40h/a.- 10 vagas (geólogos e eng. de minas).
- Curso/Operação e manutenção de equipamentos/Sistemas de perfuração pneumática de rochas ornamentais. Período: 14/07 a 29/08 - Carga horária: 300h/a.- 19 vagas.
- Curso/Corte de rochas ornamentais a fio diamantado/operação e manutenção de equipamentos. Período: 12/11 a 27/11 - Carga horária: 106h/a.- 27 vagas (geólogos e eng. de minas).
- Seminário/Tecnologia de corte de rochas ornamentais com fio diamantado. Período: 21/10 Carga horária: 08h/a.- 13vagas (geólogos, eng. de minas e outros).

Cursos e seminários realizados em 2004

- Curso/Operação e manutenção de equipamentos de perfuração e ar comprimido.
- Período: 20/07 a 03/08 - Carga horária: 88h/a.- 17vagas.
- Curso/Corte de rochas ornamentais a fio diamantado e jet flame
- Período: 13/09 a 30/09 - Carga horária: 120h/a.- 33vagas (geólogos, eng. de minas e outros).

Cursos e seminários realizados em 2005

- Curso/Recorte de prisma e transporte de bloco. Período: 26/09 a 02/10 - Carga horária: 106h/a.- 17vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Corte de rochas ornamentais a fio diamantado/Jet Flame/Explosivos leves. Período: 09/08 a 26/08 - Carga horária: 114h/a.- 15vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Legislação/Controle e recuperação ambiental de pedreiras de rochas ornamentais. Período: 26/09 a 02/09 - Carga horária: 48h/a.- 27vagas (geólogos, eng. de minas e outros).

- Curso/Saúde e segurança do trabalho em pedreiras em rochas ornamentais. Período: 03/10 a 05/10 - Carga horária: 16h/a.- 27vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Pesquisa de detalhe/amostragem industrial/análise exeqüibilidade do aproveitamento econômico da jazidas de rochas ornamentais. Período: 15/11 a 03/12 - Carga horária: 130h/a.- 14vagas (geólogos, eng. de minas e outros).

Cursos e seminários realizados em 2006

- Curso/Recorte de prisma e transporte de blocos de rochas ornamentais. Período: 13/03 a 28/03 - Carga horária: 96h/a.- 10 vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Mineração, meio ambiente e segurança do trabalho em pedreiras de rochas ornamentais. Período: 04/04 a 13/04 - Carga horária: 96h/a.- 12 vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/corte de rochas com uso de fio diamantado e explosivos. Período: 09/05 a 19/05 - Carga horária: 72h/a.- 10vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Perfuração pneumática de rochas ornamentais. Período: 18/07 a 24/07 - Carga horária: 56h/a.- 10vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Amostragem para fins industriais – Área de Matina. Período: 19/09 a 28/09 - Carga horária: 64h/a.- 06vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Meio ambiente e segurança no trabalho recuperação de áreas degradadas. Período: 07/11 a 10/11 - Carga horária: 26h/a.- 06vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Recorte de prisma e transporte de blocos de rochas ornamentais. Período: 21/11 a 25/11 - Carga horária: 40h/a.- 10vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Curso/Corte de rochas a fio diamantado. Período: 28/11 a 01/12 - Carga horária: 36h/a.- 13vagas (geólogos, eng. de minas e outros).
- Total geral de cursos de 2003 – 2006
Quantidade: 19
Carga Horária (h/a): 1.562
Nº Participantes: 279

Programação dos cursos – 2007.

- 16/04/07 a 22/04/07 – Introdução ao corte de rochas com fio diamantado e explosivos leves – 15 vagas – 52 h/a – público: operadores de máquinas que com experiência em rochas ornamentais e treinandos em formação na pedreira escola;
- 02/05/07 a 11/05/07 – Perfuração em pedreiras de rochas ornamentais – 15 vagas – 76 h/a – público: jovens e cidadãos dos municípios da Região Econômica do Paraguaçu;
- 21/05/07 a 01/06/07 – Martelo pneumático/compressores/funcionamento e uso/furação primária e secundária no recorte de primas e blocos - 15 vagas – 92 h/a – público: jovens e cidadãos dos municípios da Região Econômica do Paraguaçu;

- 11/06/07 a 16/06/07 – Meio ambiente, segurança no trabalho e recuperação de Áreas degradadas. – 15 vagas – 44 h/a – público: Profissionais de nível médio e superior atuantes no setor mineral.
- 03/07/07 a 13/07/07 – Produção de blocos representativos de uma jazida pesquisada, visando a obtenção de chapas para fins de divulgação junto ao mercado. – 06 vagas – 84 h/a – público: profissionais do setor de rochas ornamentais.
- 23/07/07 a 28/07/07 – Visão integrada da cadeia produtiva de rochas ornamentais, com ênfase nas fases de pesquisa geológica e nos métodos de lavra utilizados. 15 vagas – 44h/a – público: professores e estudantes de entidades de ensino de formação profissional no segmento de rochas ornamentais.

Entretanto apenas o primeiro curso foi realizado, em abril de 2007, tendo em vista as mudanças de governo a nível estadual, na busca de uma política mineral diferente dos planos estabelecidos anteriormente. Dessa forma a CBPM, considerando a estrutura logística e operacional montada em Ruy Barbosa, com as perspectivas de implantação e operação de novos projetos de mineração na Bahia, nos próximos quatro anos.

Considerando ainda a necessidade de se implantar ações de treinamento e de formação de mão de obra técnica para atender esses novos empreendimentos e, considerando inclusive a necessidade de se reestruturar o projeto pedreira escola dentro da nova perspectiva de ações da CBPM a seguir está apresentado novos plano para o projeto Pedreira Escola, no quadriênio 2008-2011, com a expectativa de novas propostas e alternativas para viabilização da mesma.

PROPOSTAS

- Ampliação dos objetivos do Projeto redirecionando focos, através da diversificação e da expansão de suas atividades de treinamento, contemplando também outras áreas do setor mineral;
- Execução de todas as suas atividades através de parcerias na áreas Federal, Estadual, Municipal e Privada, com compartilhamento de custos e sob demandas específicas;
- Transformação do Projeto Pedreira Escola em um Centro de Treinamento Mineral (CTM).

Alternativas para Viabilização

Para concretização destas propostas e destas transformações, a CBPM sugere:

- Colocar à disposição das parcerias encetadas, toda a infra-estrutura física, acervo de equipamentos, materiais técnicos, equipe e insumos existentes em Ruy Barbosa;
- Dar continuidade à política de treinamentos e ações de apoio ao setor mineral, inclusive de rochas ornamentais, desde que estas estejam demandadas e estabelecidas em convênio e/ou acordos de parceria, e se realizem sob o regime de compartilhamento de custos;
- Desenvolver e compartilhar novas atividades de treinamento técnico, contemplando os segmentos de prospecção e pesquisa mineral, extração mineral, beneficiamento e aproveitamento de rejeitos minerais, preservação e recuperação ambiental, entre outras;

- Dar apoio ao desenvolvimento e à incorporação de novas tecnologias, estreitando seus laços de cooperação com universidades, centros de pesquisa tecnológica e empresas privadas;
- Dar apoio aos fabricantes de equipamentos, quer do setor de rochas, quer de outros segmentos da indústria extrativa mineral, disponibilizando local e condições para realização de seminários, palestras, cursos e demonstrações práticas;
- Interagir mais intensamente com outras estruturas de formação e treinamento, quer de nível médio, quer de nível universitário, disponibilizando cursos, estágios e outras atividades demandadas, sempre em sistema de compartilhamento de custos;
- Discutir intensamente com os parceiros interessados, maneiras de concretizar estas transformações;
- Compartilhar a gestão da nova estrutura de treinamento e formação técnica (CTM), com outros parceiros patrocinadores. Para tal criar-se-á um Conselho Consultivo, cuja missão será a de viabilizar a preparação de cursos em parceria com as entidades demandantes.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, H.C.A.; SILVA, E.F.A. *Pedreira escola: capacitação e extensão tecnológica*. Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p.189-192.
- AZEVEDO, H.C.A. *Projeto Pedreira Escola. Canteras escuelas em iberoamerica*. Rio de Janeiro: CNPQ/CYTED, 2001. p. 129-135
- CARANASSIOS, A.; ALBUQUERQUE, G. A.S.C.; CASTRO, N.F.; AZEVEDO, H.C.A. *Proyeto cantera-esuela. Iberoeka em mármoles y granitos*. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPQ, 2003. p.189-200.
- RIAL, J.E.S. *Cantera Escuela: educación o entrenamiento*. Canteras escuelas em iberoamerica. Rio de Janeiro: CNPQ/CYTED, 2001. p. 03-22.
- SAMPAIO, R.D. *A indústria de rochas ornamentais e de revestimento do nordeste no contexto da política brasileira de desenvolvimento regional*. Iberoeka em mármoles y granitos. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPQ, 2003. p.15-29.

CAPÍTULO 32

A INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NA COMPETITIVIDADE E TECNOLOGIA PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Ludson Moulin Zampirolli¹; P. G. Barbosa & J. J. D. Câmara

RESUMO

Barreiras comerciais e exigências de comportamento social e ambiental não serão os únicos critérios para acesso a mercados em escala global, profissionais de projeto e o consumidor final passarão a ter um papel importante na decisão de seleção de materiais. A ferramenta de Análise do Ciclo de Vida de Produtos, com critérios definidos pela ISO 14.025, já fazem parte do interesse da sociedade na comparação e seleção de produtos. No segmento de Rochas Ornamentais aplicado na construção civil, os resultados de performance ambiental, entre eles consumo de energia, emissão de resíduos e toxidade humana, apresentam credenciais favoráveis quando comparado à cerâmica, concreto, rochas sintéticas, vidro e aço, oriundos de características minerais. A reflexão e abordagem do impacto social, econômico, tecnológico e ambiental sobre as vantagens do uso das Rochas Ornamentais na construção civil permeiam diretamente em toda a cadeia produtiva do setor, não proporcionando uma condição de mineração sustentável, mas uma mineração ambientalmente benigna. A metodologia do design estratégico na informação da sociedade de profissionais reguladores, especificadores e do consumidor final é de suma importância para a validação das ações no setor de Rochas Ornamentais.

Palavras chaves: rochas ornamentais, design sustentável, análise do ciclo de vida.

ABSTRACT

The commercial barrels, and the social and environmental behaviour will not be the only points to access markets at a global scale. Industrial and project designers, and final consumer will have to take an important decision in selecting materials. The tool of Life Cycle Assessment with defined criteria by the ISO 14.025 is already part of interest of society when comparing and selecting products. The Ornamental Stone Sector within the civil engineering the results of performance of the environment, also the consumption of energy, emission of residue and human toxiness, present favourable credentials when compared to ceramics, concrete, synthetic stone, glass and steel; with mineral characteristics. The reflection and consideration on social impact, economic, technologic and environmental about he usage of the use of Natural Stone within civil engineering play an utterly important part in all productive chain in the sector, not proportioning condition of sustainable mineral, but a

¹ Professor Especialista, Design de Produto/UCL – E-mail: lmzampirolli@terra.com.br

benign mineral extraction. The methodology of strategic design on the information of society of professional regulators, makers, and of final consumer is extremely important for the validation of actions on the Ornamental Stone Sector.

Keywords: ornamental stones, sustainable design, Life cycle assessment

1. INTRODUÇÃO

Aquecimento global, derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar, acidificação e toxidade humana já fazem parte das discussões da sociedade num caráter global. Seja numa pequena cidade do interior do Brasil ou em grandes centros urbanos e econômicos como São Paulo, Tóquio, Nova York, Milão, Dubai, Londres ou Amsterdam. Diminuição de recursos hídricos, desertificação, assim como produtos orgânicos (produzidos sem o uso de agrotóxicos), coleta seletiva de lixo para beneficiar processos de reciclagem, fontes energéticas renováveis e limpas, reuso da água, produtos sustentáveis, produção mais limpa, repúdio ao trabalho escravo e infantil, entre outros temas, somam informações cotidianas à sociedade do globo.

À medida que a sociedade obtém informações e é esclarecida, nota-se que ocorre, de forma gradativa, uma reação aos fatos, e por ser, na grande maioria, uma sociedade de consumo, ela tem o poder de decidir quais caminhos seguir, assim como quais produtos adquirir.

Atualmente, sustentabilidade não é um luxo, trata-se de um posicionamento para melhorar a qualidade de vida e do meio ambiente, com reflexões na geração atual e futura. Por uma questão de evolução da sociedade, esta irá exigir cada vez mais produtos e serviços que atendam suas necessidades e desejos, agora ligados ao meio ambiente e sustentabilidade, e não o contrário, ou seja, a sociedade não exigirá por um mundo pior.

Para atender as necessidades e desejos da sociedade, existem os profissionais de projeto. São os Designers, Engenheiros, Arquitetos, Urbanistas, entre outros que também fazem parte da sociedade, mas possuem conhecimentos técnicos, antropológicos e científicos para o desenvolvimento de projetos. Desenvolvem projetos em diferentes graus de dificuldade e buscam conhecimentos multidisciplinares (artes, exatas, humanas, biológicas...) com objetivo de proporcionar melhores condições de vida à sociedade.

Portanto, para atender aos questionamentos da sustentabilidade e meio-ambiente para a sociedade, estão sendo desenvolvidas ações regulatórias e normativas, juntamente com organizações públicas e privadas, de diversos segmentos, e que certamente implicará, de forma consolidada, impactos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais, no globo como um todo e conseqüentemente na sociedade que nele habita. Influenciando os parâmetros de tecnologia e competitividade no setor industrial, que neste estudo está enfatizando o setor de Rochas Ornamentais.

Ecobuildings, Environmental Products Declarations, Green Houses, Rotulagem e Certificação Ambiental, Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) já estão fazendo parte do dia-a-dia dos profissionais de projeto, sendo estudados e pesquisados cada vez mais e, conseqüentemente, seus conceitos e resultados aplicados nestes projetos, cada vez mais sustentáveis. Pode-se notar que, quanto mais eficiente é a pesquisa por materiais, melhores são os resultados dos projetos e, conseqüentemente, destacam-se num ambiente competitivo, despertando o interesse do consumidor, que investe em soluções para seu bem estar.

Normas e barreiras comerciais aplicados à construção civil, ainda não promovem grandes desafios comerciais aos países produtores de rochas ornamentais. Mas observa-se que, em pouco tempo, serão exigidos laudos de origem e processos, certificados e outros de uma grande quantidade de produtos. Formalmente não existem muitos parâmetros restritivos por instituições governamentais ligados às Rochas Ornamentais, mas a sociedade como um todo exigirá informações específicas. Se a indústria do setor de Rochas Ornamentais investir no atendimento de necessidades e desejos dos profissionais de projeto e do consumidor final, poderá posicionar-se de forma ambiental e economicamente competitiva.

Profissionais de projeto, são ainda, responsáveis pela especificação de produtos em seus projetos e, portanto, só poderão especificar as Rochas Ornamentais em lugar de outro material, a partir do conhecimento profundo do material, seus processos, seu impacto ambiental, seu uso e manutenção, seu descarte e seu custo. Como também atuam com pesquisa e desenvolvimento de novos usos e produtos, quando se tem informações detalhadas sobre a matéria-prima e processos, têm-se a oportunidade da geração de tendências em Design. Vale salientar que um novo design não significa somente qualidades estéticas, favoráveis (bonito) ou desfavoráveis (feio), mas apresenta análises de mercado, desenvolvimento de produtos, soluções de produção, eficiência em vários níveis e, principalmente, despertar o interesse do consumidor, gerando venda e lucro.

Este estudo faz-se necessário para a apresentação de uma possibilidade de maior integração entre o consumidor final, profissionais da área de projeto e design, entidades de referência ambiental e econômica, construção civil e o setor de Rochas Ornamentais. Empresas e profissionais envolvidos direta e indiretamente com essa questão multidisciplinar foram entrevistados, e observou-se presencialmente o desenvolvimento deste estudo como fator de desempenho ambiental na competitividade e tecnologia para o setor de Rochas Ornamentais.

2. CONCEITOS

Segundo o IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, 22 nov. 2007 19:07:34), a necessidade da implantação do método de Avaliação do Ciclo de Vida de produtos industriais, comerciais ou de serviços no Brasil decorre do fato de que, a partir de 2006, entrará em vigor a norma de rotulagem ambiental ISO 14025, que, apesar de voluntária, pode acarretar barreiras comerciais às empresas que não adotarem procedimentos de cuidado ambiental na extração, vida útil e no descarte final de seus produtos. “Quem não se adequar a estas exigências, pode ficar fora do mercado mundial”, alerta o professor Armando Caldeira. Ele lembra que países como Japão, Canadá e Estados Unidos, além de muitas nações europeias, como a Suíça, já estão implantando largamente a ACV e, por isso, lideram a corrida pela adaptação dos seus produtos a um modelo ‘preservacionista’ de mercado.

ACV (análise do Ciclo de Vida) consiste em um método para a avaliação dos sistemas de produtos ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida, estabelecendo vínculos entre esses aspectos e categorias de impacto potencial, ligados: ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia. Considera-se o estudo de um produto desde sua extração (berço), sua vida útil, ao descarte (túmulo). Em linhas de pesquisas e tendências mais recentes aplicadas em novos conceitos de design, é abordado o tema “do berço ao berço”, priorizando pesquisas nos resíduos, transformando-os em subprodutos, que gerarão

novos produtos, ou seja, produto 1 que gera o produto 2, e não o resíduo do produto 1, produto 2 que gera o produto 3 e assim sucessivamente.

Segundo Soares, Souza e Pereira ressaltam que a aplicação da ACV para a avaliação de impactos ambientais associados à construção civil apresenta algumas limitações, especialmente quando comparada à sua utilização no meio industrial. Primeiramente, é importante ressaltar a dificuldade em obtenção de informações e bases de dados confiáveis e completos para os materiais utilizados no setor da construção civil. Scheuer et al. (2003)

Quando o tema abrange sustentabilidade, torna-se pertinente também abordagens de âmbito econômico e ambiental simultaneamente e, segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), as mudanças necessárias à transição para a sustentabilidade são de ordem sistêmica e, portanto, exigem inovações não somente tecnológicas, mas também sociais e culturais.

Quanto à importância e credibilidade de metodologias para análise e implantação de ações que interligam meio ambiente, o setor econômico e produtivo para o setor de Rochas Ornamentais, MANZINI e VEZZOLI (2005) argumentam a importância de sistemas de análise quantitativa dos efeitos ambientais no ciclo de vida dos produtos. Tais instrumentos nasceram da exigência de serem feitas avaliações quantitativas além da necessidade de analisar e confrontar outras propostas alternativas. Dentre as metodologias propostas, a Life Cycle Assessment (LCA), ou seja, Análise do Ciclo de Vida (ACV) é a mais segura e promissora.

A importância da ACV para a competitividade das empresas, particularmente aquelas voltadas à exportação, deve ser potencializada e ganhar contornos mercadológicos, por conta da edição, neste ano, da primeira versão da norma internacional ISO 14025. Esse instrumento, que delibera a respeito da rotulagem de produtos, dispõe que a emissão do Selo Verde do Tipo III seja condicionada a um bom desempenho do produto em termos ambientais, o qual deve, por sua parte, ser aferido por meio da realização de estudo de ACV. Por força desse fato, é possível depreender que o expediente da rotulagem ambiental poderá ser usado em processos de concorrência para a formalização de transações comerciais que se realizem junto ao mercado internacional.

Para MANZINI e VEZZOLI (2005), uma pressão ambiental determinou uma significativa mudança de rota em nível industrial, o consumidor final, juntamente com os profissionais de projeto tem o poder de orientação para o setor industrial que, segundo Boechat (2007) pode levar, por exemplo, à conquista de nichos de mercado no mundo que valorizam produtos de empresas responsáveis. Exigindo posturas e ações cada vez menos filosófico para mais econômico e político.

Fazem parte das tendências de comportamento, atualmente, dos profissionais de projeto, segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), o profundo conhecimento das propriedades e a previsibilidade de que o comportamento dos materiais dão-nos a condição de saber quando e como os materiais podem ser utilizados racionalmente, para responder de modo adequado a determinadas exigências comportamentais. A análise quantitativa de um banco de dados apresentados por uma ACV, apresenta índices de impacto para a produção de alguns materiais mais utilizados e indica a nocividade para o meio ambiente proveniente de alguns materiais que comumente são utilizados na produção industrial. Informações de servem de suporte às decisões a serem tomadas, tendo em vista o meio ambiente, além de parâmetros tecnológicos e mercadológicos.

Segundo Amory Lovins (2007), uma vez que aproximadamente dois quintos da energia mundial e dos materiais e cerca de um sexto da água são utilizados em edificações, e considerando que as edificações modelam nossas vidas e o modo como nos relacionamos com os outros e nos deslocamos, os arquitetos e engenheiros já são os responsáveis por muitos –se não a maioria– dos efeitos causados na Terra pelas pessoas.

Para o setor de Rochas Ornamentais, Amory Lovins (2007) argumenta sobre a mineração, onde não cabe usar a palavra sustentável, pois se extrai um recurso da natureza e o espalha de tal modo que ele não possa ser recuperado nem reutilizado, essa atividade não é sustentável. A interpretação pode sim, ser realizado de modo “ambientalmente benigno”. Avaliando e tomando ações responsáveis em busca de um melhoramento contínuo e ambientalmente sustentável.

Numa comparação de Análise de Ciclo de Vida entre dois materiais, ilustração 1, mármore e cerâmica de mono queima, com uma unidade funcional de m² para revestimento de piso, com um período de ciclo de vida de 40 anos, Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002), concluem que o resultado da análise do ciclo de vida de piso cerâmico é duas vezes mais nocivo ao meio ambiente que o piso de mármore, onde as categorias mais importantes do ciclo de vida para os dois sistemas são aquecimento global, toxicidade humana e acidificação.

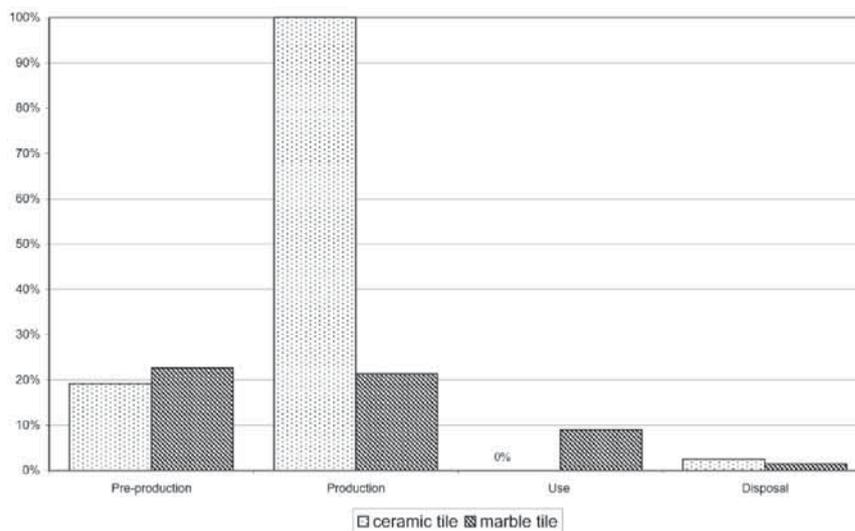


Ilustração 1: comparação entre os dois sistemas no ciclo de vida, segundo Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002).

A Halletec Associates (2007) promoveu uma pesquisa para diversos materiais aplicados na construção civil, apresentando credenciais verdes para as Rochas Ornamentais, conforme ilustração 2.

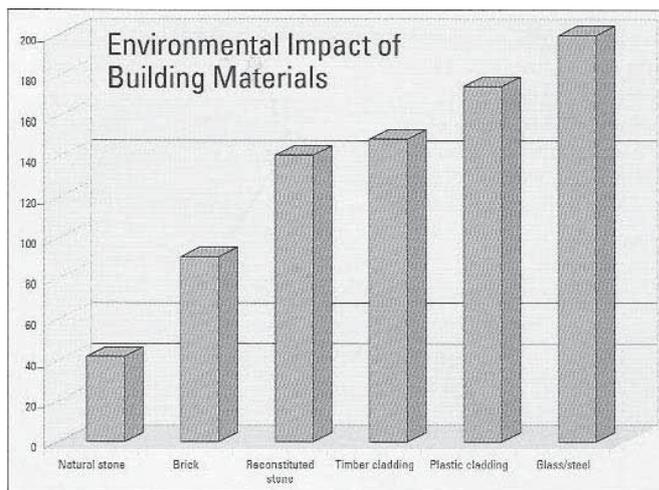


Ilustração 2: produzido pela Halletec Associates.

Segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), sobre a participação do usuário, coloca o *green consumerism* como um fenômeno já consolidado e que desempenhou um papel importante para deslocar a questão ambiental do terreno da denúncia para o terreno da economia e do mercado.

Como já ocorre em outros segmentos, existe, segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), uma tendência de estender a responsabilidade do produtor também para as fases finais da vida dos produtos (EPR: Extend Producer Responsibility) é uma das mais significativas tendências normativas atualmente encontradas no cenário europeu e internacional.

Citando como exemplo o Brasil, segundo Chiodi Filho (2003), há aproximadamente 600 variedades comerciais de Rochas Ornamentais, o abrangeria 1500 frentes de lavras ativas, onde produção e a comercialização estariam sob a responsabilidade de 11.100 empresas, gerando aproximadamente 114.000 empregos diretos. Somase a este número os empregos indiretos, responsáveis por manutenção do maquinário instalado, fabricantes de máquinas e equipamentos, fabricantes e distribuidores de insumos, responsáveis pela logística, entre outros que promovem a sustentabilidade do setor de Rochas Ornamentais.

3 -METODOLOGIA DE ANÁLISE

As atividades extrativas e de beneficiamento mineral apresentam diferentes procedimentos, consumo energético, geração de resíduo, entre outros, devido à caracterizações geográficas, geológicas, ambientais, comerciais e tecnológicas ao redor do globo, o que torna um grande desafio o desenvolvimento deste estudo, já que cada empresa é diferente de outra.

Com base em parâmetros e metodologias aplicadas para Análise do Ciclo de Vida (ACV), amparado pela normalização da ISO 14025 e no Design Estratégico, esta pesquisa sugere uma adequação do setor de Rochas Ornamentais aos novos desafios ambientais, tecnológicos e econômicos da sociedade, promovendo um modelo de implantação de metodologia ACV para Rochas Ornamentais.

4. GERAÇÃO DE HIPÓTESES ORIENTADO AO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Método para a avaliação dos sistemas de produtos ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida.

Na Avaliação do e Ciclo de Vida de produtos e serviços estabelecendo vínculos entre os aspectos e categorias de impacto potencial, ligados: ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia, pode ser determinados em 05 fases, segundo a Associação Brasileira de Análise do Ciclo de Vida:

1. Definição do Objeto
2. Inventário do Ciclo de Vida
3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
4. Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida
5. Limitações na Elaboração do Estudo de ACV

4.1 Definição dos objetivos e do alcance (escopo);

Definição clara dos “objetivos” e “escopo” (NBR ISO 14041) dos limites do estudo, determinado o que fará parte da pesquisa e o que não será estudado. Nesta fase serão determinados o caminho a ser percorrido, sem desvios e omissões, é a fase crucial para o sucesso da condução do estudo.

Serão coletados dados referentes a todas as entradas (inputs) e saídas (outputs) pertinentes ao sistema. Como parâmetros aplicados ao setor de Rochas Ornamentais, conforme ilustração 3, pode ser orientado para um estudo de ACV para tampos de cozinha. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica interativa. Durante o decorrer do estudo, em função de uma série de fatores, pode ser necessária a modificação do escopo do estudo, ou seja, adaptações devem ser orientadas para cada estudo, em função da diversidade de empresas, jazidas, mercados entre outros.

Como definição do que não entra no estudo, pode-se aplicar o exemplo de não pertencer ao estudo os resultados da argamassa utilizada para o assentamento da Rocha Ornamental, ou ainda o número de vezes que o material será limpo, assim como os produtos químicos aplicados ao longo de sua vida útil durante o período pesquisado, já que estes são fatores independentes do material aplicado para um objetivo. Dependendo do objetivo do uso do material, faz-se necessário este estudo, pois o resultado pode apresentar índices relevantes à Rocha Ornamental no seu ciclo de vida.

Além dos procedimentos pertinentes a cada uma das fases do ciclo de vida para as Rochas Ornamentais, é necessário a quantificação, assim como a determinação do grau de importância de cada *input* como insumos, energia e transporte, e *output* como emissões e resíduos.

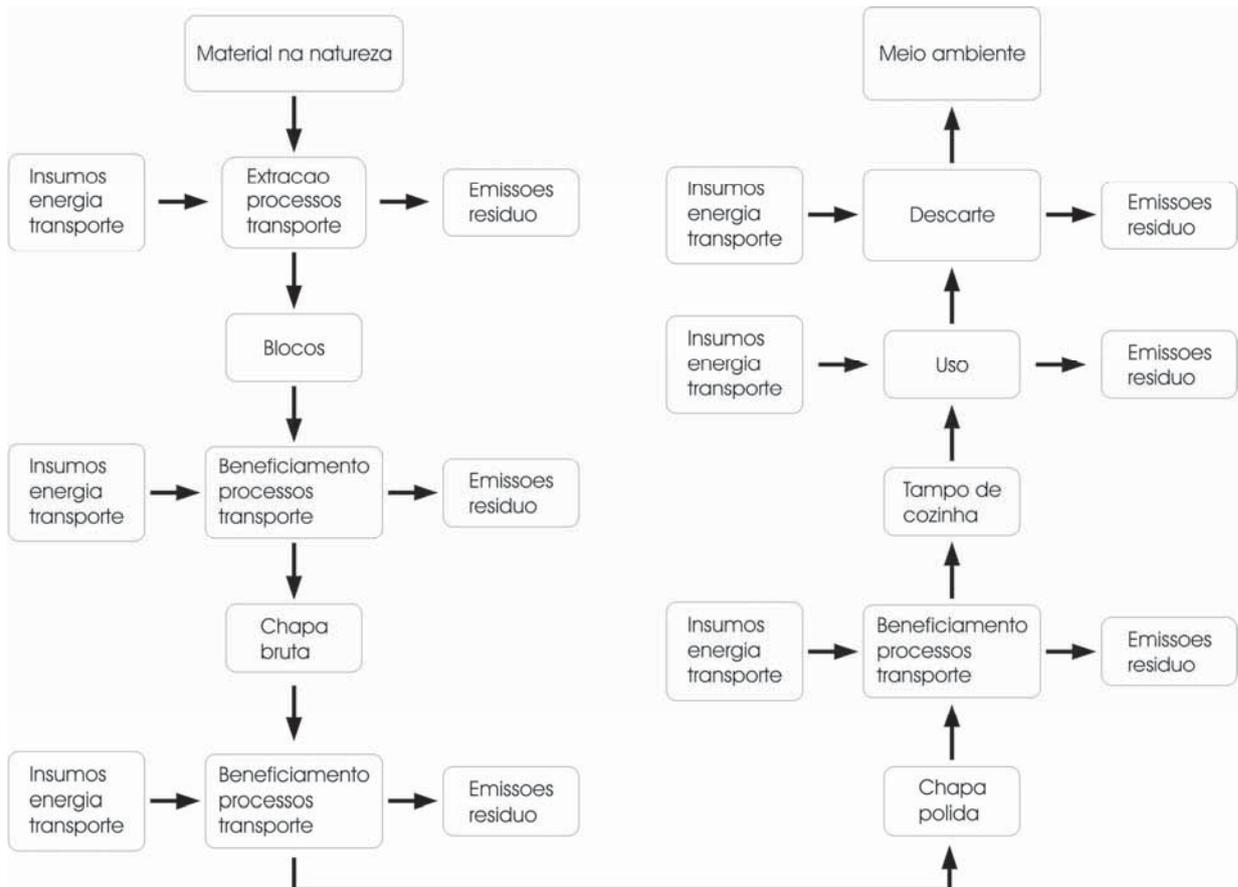


Ilustração 3: organograma sugerido para pia de cozinha

Nesta fase do estudo deve-se considerar:

- Sistema a ser estudado – ex: granito Amarelo Veneziano;
- Definição dos limites do sistema – ex: organograma da extração ao descarte;
- Definição das unidades do sistema – ex: bancada de trabalho para cozinha residencial;
- Estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema – ex: bancada de trabalho para cozinha residencial, m² de tampo de cozinha;
- Procedimentos de alocação – ex: extração de Nova Venécia – ES – Brasil para tampo de cozinha em condomínio residencial em Miami – USA;
- Requisitos dos dados – ex: determinação da origem das fontes para obtenção de dados e suas unidades funcionais;
- Hipóteses de limitações – ex: vida útil do produto, aplicação ou não de resina para polimento, não consideração da cuba (que poderá ser de aço inox ou outro material), não consideração de dados dos produtos de limpeza usados ao longo da vida útil assim como o uso de água, destinação de descarte para aterro de construção civil, ou destinação de descarte com coleta pela empresa para reuso na confecção de mosaico artístico, entre outros;

- Avaliação de impacto, quando necessária e a metodologia a ser adotada – ex: determinação dos riscos à saúde humana ao longo do ciclo de vida (o processo de resinagem e polimento das chapas podem apresentar índices significativos, e que orientem para melhores adequações);
- Interpretação dos dados, quando necessária e a metodologia a ser adotada – ex: interpretados e validados por entidades ambientais, entidades representativas do setor da construção civil, entidades representativas do setor de Rochas Ornamentais;
- Tipo e o formato do relatório importante para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário – ex: clareza na formatação do relatório para que seja possível a interpretação e avaliação das entidades representativas, sem omissão de dados ou que seja tendencioso favorecendo ilegalmente algum beneficiário.

4.2 Inventário do Ciclo de Vida

Documentação e enumeração baseado na Análise de Inventário (NBR ISO 14041), refere-se à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil. Já existem no mercado softwares que orientam a implantação de ACV, orientam a coleta de dados e promovem comparações e cálculos que geram planilhas, gráficos e mapas para futura análise. Considera-se nessa fase que tudo que entra deve ser igual ao que sai do sistema em estudo, em termos de energia ou massa, desde a extração das matérias-primas até o descarte final do produto.

Alguns países com Suíça, Holanda e outros, já desenvolveram pesquisas de Análise do Ciclo de Vida de diversos produtos e serviço, formando um banco de dados e disponibilizando esses dados para análises relacionadas entre si. O setor de Rochas Ornamentais podem se valer de dados já existentes neste bancos de dados, mas será necessário intensas pesquisas no setor para gerar novos dados intrínsecos do setor. Outra característica muito pertinente à confiabilidade e segurança da pesquisa está na utilização de dados regionais e locais para cada etapa do ciclo de vida pesquisado. No Brasil, o IBICT está gerenciando a formação de um banco de dados, assim como cada país possui um banco de dados. Seguindo uma padronização mundial, os dados são válidos para análises e interpretações. Esta fase da Análise do Ciclo de Vida pode se tornar uma das mais difíceis e trabalhosas em função da não-disponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis ou da necessidade de estimá-los.

Segundo o IBICT, deve-se levar em consideração: a necessidade de uma estratégia cuidadosa na preparação para a coleta de dados; a coleta de dados; o refinamento dos limites do sistema; a determinação dos procedimentos de cálculo e os procedimentos de alocação.

4.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Com dados quantificados levantados pelo inventário, a Avaliação do Impacto (NBR ISO 14042) orienta à identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente.

Para o setor de Rochas Ornamentais, os parâmetros de impacto ambiental deverão ser discutidos de maneira criteriosa, técnica e científica, determinando categorias e o grau (valores) de impacto ambiental, mesmo para resultados que geram, hoje, avaliações subjetivas que possam sujeitar resultados distorcidos. Diferenças de interpretações existentes para a avaliação do im-

pacto ambiental tem gerado grandes debates científicos, mas somente através deste debates pode-se chegar a uma ponderação.

Segundo o IBICT, a norma ISO 14042 propõe uma estrutura para o processo de avaliação incluindo basicamente três etapas: seleção e definição das categorias: as categorias devem ser estabelecidas com base no conhecimento científico; classificação: os dados são classificados e apurados nas diversas categorias selecionadas; caracterização: os dados são modelados por categoria de forma que cada um possa ter o seu indicador numérico.

4.4 Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida

Este pode ser uma fase perigosa, pois se trata de uma das etapas mais sensíveis. A Interpretação dos resultados de ACV (NBR ISO 14043) pode gerar dúvida, pois as hipóteses estabelecidas durante as fases anteriores, assim como adaptações que podem ter ocorrido em função de ajustes necessários para cada sistema estudado, a interpretação pode afetar o resultado final do estudo. Com base dos levantamentos das fases anteriores, o relatório final deve ser elaborado de forma a possibilitar o uso de seus resultados e sua interpretação em harmonia com o objetivo estabelecido para o estudo. Por isso a importância da descrição clara do escopo e dos objetivos.

Orienta-se um relatório normativo, evitando descrições imperfeitas do sistema de produção. Devido à qualidade dos dados, pode-se levar a algumas incertezas, e mesmo que involuntariamente, determinadas subjetividades podem estar presentes desde o início dos estudos. Devido à complexidade do estudo de ACV, uma revisão crítica por um especialista independente do estudo de ACV pode evitar riscos de manipulação, abusos de condução e erros. Quando os resultados de ACV são orientados para o uso interno das empresas do setor de Rochas Ornamentais, a orientação de especialistas de diversas áreas como meio ambiente, engenharias, design, tecnológicos, TI, RH e outros se faz necessária para análise, discussão, planejamento e tomadas de decisão orientadas para aprimorar um desenvolvimento sustentável.

Para o uso dos resultados de ACV em afirmações externas e públicas de forma comparativa, o relatório deve, obrigatoriamente, passar por uma revisão crítica externa independente, por um especialista ou uma comissão, já que esta afirmação pode afetar partes (outros núcleos setoriais, econômicos e sociais) externos do estudo da ACV. Pode-se ainda fazer parte da comissão representantes das partes afetadas. Essa revisão crítica por especialista ou comissão vem por apoiar o resultado do estudo, assim como pontuar sua credibilidade no cenário regional e internacional. Como caráter ético, o fato de uma análise crítica ter sido conduzida não implica de modo algum um endosso de qualquer afirmação comparativa que seja baseada num estudo de ACV. Segundo o IBICT, a declaração sobre a análise crítica e o relatório da comissão de análise crítica, assim como comentários do especialista e quaisquer respostas às recomendações feitas pelo analista ou pela comissão, devem ser incluídos no relatório de estudo de ACV.

4.5 Limitações na Elaboração do Estudo de ACV

Devido a complexidade da ferramenta de ACV, devemos observar que podem existir ainda incertezas na qualidade dos dados e nos seus resultados, além de haver certo grau de subjetividade decorrente da necessidade de julgamento e discernimento por parte dos especialistas encarregados da condução do estudo, como também limitações de conhecimento científico

disponível. A convergência de especialistas multidisciplinares na condução do estudo orienta para a minimização de distorções e tende a resultados mais esclarecidos.

A elaboração de estudos aplicados ao setor de Rochas Ornamentais que utilizam a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida acarreta em grande consumo de tempo, recursos financeiros e humanos. Principalmente numa fase em que se iniciam as pesquisas. Devem ser analisados a relação custo benefício, já que num primeiro momento o estudo deve ser profundo e criterioso, pois será necessário o levantamento de dados inexistentes ou que não se davam a importância, geração de níveis e valores associando meio ambiente e o setor de Rochas Ornamentais, para gerar confiabilidade.

É importante se ter em mente que a ACV, por sua natureza, não é uma ferramenta capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, já que não mede, por exemplo, impactos reais ambientais, e sim impactos potenciais. Por outro lado, as informações resultantes da ACV podem e devem ser utilizadas como mais um componente de um amplo processo decisório que leve em consideração outros fatores.

5. ESTIMATIVA DOS IMPACTOS:

As possíveis aplicações da ACV podem ser:

Usos internos:

- Planejar estratégias ambientais de desenvolvimento
- Desenvolver o design de produto e de processo.
- Identificar as oportunidades de melhoramento das serventias ambientais.
- Dar suporte à decisão de procedimentos de compra.
- Desenvolver auditing ambientais e minimizar o lixo. Usos externos:
- Definição de critérios para eco-labels.
- Educação e comunicação públicas
- Suporte de decisões no âmbito político.
- Suporte em decisões para definir procedimentos de compra. (MANZINI e VEZZOLI, 2005).

Segundo o IBICT, a indústria tem utilizado essa ferramenta de ACV, entre outros, para os seguintes usos:

- desenvolvimento de uma avaliação sistemática das conseqüências ambientais associadas com um dado produto;
- análise das trocas ambientais associadas com um ou mais produtos ou processos específicos para obter dos tomadores de decisão (estado, comunidade e outros) aprovação para alguma ação planejada;
- quantificação das emissões ambientais para o ar, água e terra em relação a cada estágio do ciclo de vida ou ao processo que mais contribui;

- avaliação dos efeitos dos consumos de materiais e das emissões ambientais sobre o meio ambiente e sobre o homem;
- identificação de áreas de oportunidade para uma maior eficiência econômica;
- na concepção e desenvolvimento de produtos.

A implantação de uma metodologia de Análise do Ciclo de Vida para o setor de Rochas ornamentais, orientam para um desenvolvimento ambiental com reflexões tecnológicas e econômicas, além de outros impactos.

5.1 Impacto Ambiental:

Apresenta ferramentas de diagnóstico do quadro funcional da empresa como um todo e pontualmente, que promoverá: redução de consumo de energia; aproveitamento máximo da matéria-prima; destinação adequada de resíduos e incentivo na transformação de novos produtos; quantificação e diminuição na emissão de poluentes.

5.2 Impacto Científico:

- Produção de modelo de metodologia de implantação de Análise do Ciclo de Vida para MPEs do setor de Rochas Ornamentais;
- Centro de referência para projetos afins e produção científica;
- Formação de banco de dados específico para o setor de rochas ornamentais, como fonte de pesquisa e informação para comunidades civil, empresarial, governamental e acadêmica nacional e internacional;
- Referencial para publicações científicas do setor do APL de Rochas Ornamentais;
- Formação de conteúdo informativo para debate e processos de melhoria contínua de processos produtivos, insumos, transporte, embalagem, uso, manutenção e descarte no que tange consumo energético, toxicidade humana e emissões.

5.3 Impacto Econômico:

- Devido à redução no impacto ambiental, referente a consumo energético, aproveitamento máximo da matéria-prima, transformação de resíduo em subprodutos tem-se diretamente impacto econômico devido à maior eficiência;
- ACV é uma ferramenta usada internacionalmente para seleção de materiais, produtos e serviços. A partir de 2008 e 2009, alguns países determinarão barreiras comerciais a produtos que não apresentem ACV. O desenvolvimento de ACV pode então garantir o comércio dos produtos e ainda ser usado como
- ferramenta estratégica de marketing para um consumidor cada vez mais exigente e consciente.
- Na geração de um documento de ACV de Rochas, o empresariado apresentará ao consumidor vantagens frente ao consumo, emissões etc, apresentando uma quantificação de seu produto de carga ambiental e aquecimento global, promovendo vantagens na hora da venda de produtos onde se tem concorrentes de países em que a fonte energética é térmica ou de origem fóssil, por exemplo.

5.4 Impacto Social:

- ACV orienta para maior regulamentação de processos e consumo, assim como aprimoramento para melhor eficiência e menor emissão, o que favorece a humanidade de forma geral, mas principalmente a comunidade local e regional;
- Promove maior informação sobre o produto, instruindo a sociedade para um consumo consciente e seleção de produtos e serviços adequados.
- Regionalmente promove mais oportunidades na educação, na geração de trabalho e renda, assim como ações ambientalmente mais adequadas
- Envolvimento de instituições educacionais na avaliação do processo para posterior aproveitamento da pesquisa em escolas da comunidade.

5.5 Impacto Tecnológico

- Diagnóstico pontual de entradas e saídas para o setor de rochas, da extração ao descarte, que irá gerar mapas para tomada de decisões.
- Desenvolvimento de banco de dados específicos para ACV do setor de rochas, pioneiro no Brasil;
- Incentiva o aprimoramento contínuo em tecnologias e pesquisa na busca de melhor eficiência e redução de emissões;
- Referência nacional e internacional na implantação de metodologia de ACV para
- o setor de rochas.
- Pela comunidade, maior visibilidade do papel institucional e das conseqüências e benefícios de natureza prática das atividades de pesquisa.

6. CONSIDERAÇÕES

A implantação de uma metodologia normativa aplicada para o setor de Rochas Ornamentais, com uma formação criteriosa de banco de dados para uso do setor, que ainda não existe, pode requerer elevado investimento de tempo, financeiro e humanos, atualmente. Devido a importância do setor de Rochas Ornamentais, desde pequenas regiões que dependem desta atividade, até regiões onde há grande concentração de extração e beneficiamento, e ainda o setor da construção civil, o investimento inicial torna-se válido. Que servirá de parâmetros, beneficiando futuros estudos de ACV, até a viabilização de implantação de ACV para micro e pequenas empresas.

Nesta fase inicial, orienta-se o apoio governamental e representativo do setor de Rochas Ornamentais como fomentadores da ACV. Os profissionais de projeto atuam na busca das melhores soluções para atender as necessidades e desejos do consumidor, e a ACV vem como análise de ferramenta informativa para implantação criteriosa na seleção de materiais em seus projetos.

O setor de Rochas Ornamentais deve orientar-se para o consumidor final, apoiando os profissionais de projeto e design, pois estes possuem condições de especificar materiais, desenvolver novos produtos, despertar o interesse do consumidor, solucionar problemas de durante todo o

ciclo de vida do produto, favorecer para um mundo mais sustentável. A ferramenta de ACV pode provocar grandes impactos no setor de Rochas Ornamentais que devem ser criteriosamente analisados, pois há muitos riscos envolvidos:

Ações de informação, aliados à design e marketing podem mostrar ao consumidor final e aos profissionais de projeto que as Rochas Ornamentais são ambientalmente adequados à construção civil. Isso pode elevar abruptamente o consumo das rochas. Como consequência, na relação oferta e demanda, os preços subirão. Para atender à demanda, o setor pode caminhar para uma produção e produtividade à qualquer custo, onde danos ambientais, econômicos e sociais podem sofrer danos irreversíveis. Então, a ACV, que se resume a uma nota dentro de uma escala de impacto ambiental, reduz de tal maneira que o consumidor não se interessa mais e pode repudiá-lo, causando um dano, desta vez, econômico e social também desastroso.

Faz-se necessário a organização do setor de Rochas Ornamentais para um caminho correto e responsável, interagindo com todos os atores que envolvem o segmento, atento de que o novos parâmetros ambientais, vem por favorecer o desenvolvimento tecnológico e econômico para o setor. Olhar meio ambiente como uma oportunidade e não uma ameaça. Multidisciplinaridade, abertura e atualização de novos conceitos ligados ao setor mineral devem ser estimuladas para quebrar barreiras. As muitas soluções novas para os velhos problemas não podem vir do mesmo raciocínio que os criou, é necessário reunir muitos conhecimentos distintos para que as soluções sejam duráveis.

Segundo Amory Lovins, a meta do RMI (Rocky Mountain Institute) é ambiciosa: “é tornar impossível a comercialização do design ruim”. Isso vale para as construções, os veículos, os mais diversos setores de atividade. Este é um fato que pode pressionar o setor de Rochas Ornamentais a tomar decisões para caminhos ambientalmente sustentáveis, aliado à economia, mas não somente a ação de uma entidade como o RMI, mas muitas manifestações e entidades também irão pressionar.

9 -REFERÊNCIAS

- BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BORSOI, Izabel Cristina Ferreira; SCOPINHO, Rosemeire Aparecida. **Velhos trabalhos, novos dias**: modos atuais de antigas atividades laborais. Fortaleza: Edições UFC, 2007.
- CHEHEBE, José Ribamar Brasil. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark ED, CNI, 1997.
- CURRAN, M. A. (Coord.). **Environmental Life Cycle Assessment**. New York: McGraw Hill, 1996
- LE MOS, Haroldo M.; BARROS, Ricardo L.P. **Ciclo de vida dos produtos, Certificação e Rotulagem ambiental nas Pequenas e Médias empresas**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2006.
- MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Edusp, 2005.

- MELLO, Ivan Sérgio de Cavalcanti. A cadeia produtiva de Rochas Ornamentais e para revestimento no estado de São Paulo – Diretrizes e Ações para Inovação e Competitividade. São Paulo: IPT, 2004.
- MORRIS, William. *Arte y Sociedad Industrial*. Habana: Editorial Arte y Literatura, 1985.
- MUNARI, Bruno. *Das coisas nascem coisas*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- NICOLETTI, Giuseppe; NOTARNICOLA, Bruno; TASSIELLI, Giuseppe. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*, [S.l], out. 2002. Disponível em <<http://www.ingentaconnect.com/els/09596526/2002/00000010/00000003/art00028>>. Acesso em 28 de dez. 2007.
- PEVSNER, Nikolaus. *Os Pioneiros do Desenho Moderno – De William Morris a Walter Gropius*. São Paulo: Martins Fontes, 2002.
- RUSKIN, John; tradução de Luis Eduardo Lima Brandão. *As Pedras de Veneza*. São Paulo, Martins Fontes, 1992
- Avaliação do ciclo de vida. Disponível em <<http://acv.ibict.br/>>. Acesso em 25 de nov. 2007.
- IBICT-Instituto Brasileiro de Informação em Ciências e Tecnologia. Disponível em: <<http://www.ibict.br/noticia.php?id=140&page=18>>. Acesso em 30 de out. 2007.

CAPÍTULO 33

MOSAICO COM RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO POSSIBILIDADE DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Ludson Moulin Zampirolli¹; P. G. Barbosa & J. J. D. Câmara

RESUMO

A antiga arte de se fazer mosaico, atualmente apreciada para utilização em revestimentos e produtos decorativos, pode ser aprendida e exercida por qualquer pessoa, independente do grau de escolaridade ou condição social. Sua beleza rara recebe maior distinção quando a atividade que o envolve, tal como a criação e a elaboração, estão sustentadas pelo aproveitamento de resíduos de Rochas Ornamentais, tratando-se de um “design sustentável”, e pelo objetivo de geração de trabalho e renda, o que se pode chamar de “design social”. Apresenta-se, pois, o estudo de um trabalho que agrega e desenvolve esses valores, sendo visto pela população e pelo grupo atendido como fator de progresso e esperança em uma cidade baiana chamada Ourolândia.

Palavras-chave: Design; Mosaico; Desenvolvimento sustentável; Desenvolvimento social

ABSTRACT

The ancient art of making artistic mosaics, actually appreciated to the use of wall covering and decorative products, can be learnt and done by any person, no matter its scholar level or social class. Its beauty is more distinct when the activity involved, such as creation and elaboration, is sustained by the capitalization of residues of Ornamental Stones, becoming a “sustainable design”, and by the objective for creating labour and earning, otherwise well called “social design”. Therefore, is presented a study of a labour that put together concept and value, seen by people, and the group involved itself, as a factor of progress and hope for a small baiana city called Ourolandia.

Key-words: Design; Mosaic; Sustainable development; Social development.

¹ Professor Especialista, Design de Produto/UCL – E-mail: lmzampirolli@terra.com.br

1. INTRODUÇÃO

O mosaico tem sua prática iniciada há séculos e, atualmente, apresenta uma imensa possibilidade de aplicação e utilização de materiais, caracterizando-se em uma arte capaz de ser desenvolvida por qualquer indivíduo, considerado instruído academicamente ou desprovido de tal oportunidade, que apresente ou não uma convivência intensa com tal processo.

Este trabalho foi iniciado com estudo sobre um grupo de pessoas inseridas no contexto regional de uma cidade baiana, Ourolândia, sem registro histórico ou social relativo ao mosaico, que no início de 2007 começaram a praticar uma técnica de confecção de mosaicos, com objetivo de aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais, ora descartados em grande escala, e geração de trabalho e renda.

Ourolândia teve como característica de destaque econômico à micro região ao longo dos tempos, o plantio de cana-de-açúcar, que foi encerrado devido ao esgotamento do solo e inviabilidade de cultivo devido ao fortalecimento biológico de pragas. Sequentemente o cultivo de algodão teve início, daí o nome Ourolândia, e seu declínio também ocorreu pelos mesmos motivos da cana-de-açúcar acrescido do esgotamento hídrico da região.

Localizado na região Noroeste da Bahia, Brasil, caracteriza-se atualmente por longos períodos de estiagem, fazendo parte do "Sertão" baiano. Economicamente, a cidade é grande produtora de sisal e palma, cactáceas adaptadas ao atual micro-clima da região. Segundo BORSOI e SCOPINHO (2007), os períodos de estiagem contribuem para maior valorização do setor de exploração, recrutando trabalhadores rurais da região. A exploração na região de Ourolândia dá-se a caracterização geologia do travertino Bege Bahia.

Tal estudo fez-se necessário para apresentação de uma possibilidade de unir design à questão ambiental e social para a região, uma vez que o projeto ao qual se refere o presente artigo obteve, e ainda obtém, um alto nível de sucesso.

Indivíduos envolvidos diretamente e indiretamente com essa questão foram entrevistados e observou-se presencialmente a rotina do desenvolvimento desse projeto, contribuindo para o estudo e evolução da arte de se fazer o eco design com uma abordagem social.

2. CONCEITOS

A palavra mosaico tem origem grega - *Mosaicon*, denota paciência, digna das musas. Paciência porque requer muita atenção para executá-lo e, digna das musas, por se tratar de um trabalho de rara beleza.

A sua prática é datada de cerca de três mil anos antes de Cristo – GALLI (1991), e sua técnica, segundo BEVERIDGE e PASCUAL (2005), atualmente, oferece grandes possibilidades no mundo da decoração, uma vez que permite a obtenção de resultados muito pessoais e adaptam-se a qualquer estilo.

SOLER (2003) afirma que, apesar de ser uma antiga forma de arte, os mosaicos apresentam uma crescente popularidade como processo artesanal versátil e contemporâneo. Seu processo de execução proporciona grande adaptabilidade e variações de motivos, materiais, cores e aplicações, possibilitando inúmeros caminhos para a construção civil, o design, a arquitetura, a engenharia e o meio artístico.

Os métodos de construção de um mosaico não sofreram alterações significativas ao longo dos séculos. Para a sua confecção são utilizadas tesselas (*tesserae*, pequenos blocos de vidro, mármore, cerâmica ou pedra) para formar imagens ou padrões.

Cita-se, em especial, o método indireto para criação de mosaicos, desenvolvido por Facchina¹ no século XIX – GALLI (1991), que consiste em uma metodologia de produção que proporciona grande velocidade durante a execução e possibilita seu desenvolvimento em ateliê, para que depois seja transportado ao destino final.

Os mármore e os granitos, classificados como rochas ornamentais, não são muito utilizados atualmente na confecção de mosaicos devido à, principalmente, sua dureza em trabalhar, a dificuldade no acesso a ferramentas específicas e seu peso, que em média chega a 60 Kg/m² para 2 cm de espessura. No entanto, devido a sua beleza e exuberância natural, apresentam-se tais recursos como opção de matérias primas para confecção de mosaicos. “O menos observador dentre nós, reconhecendo que essas pedras constituem uma classe particular, procuraria sua origem e colocaria grande interesse nesse estudo” - RUSKIN (1992).

O setor de rochas ornamentais engloba uma cadeia produtiva composta de quatro etapas: mineradoras (extração do material da natureza), serrarias (desdobramento dos blocos de rochas em chapas), marmorarias (corte, beneficiamento e acabamento final do material) e comercialização do produto final. Tal comercialização está vinculada a, principalmente, conforme ALENCAR (1996) (in FILHO e TRUZZI (2007)), arquitetura, construção, revestimento de elementos urbanos, arte, decoração e arte funerária.

A extração de rochas ornamentais é uma atividade humana antiga e, atualmente, gera lucros empresariais e receitas governamentais consideráveis no mundo inteiro. Mais de 10.000 jazidas em todo o mundo desmontam quase 100 milhões de toneladas de rocha ornamental a cada ano, para obter cerca de 40 milhões de toneladas de rocha utilizável que se transformam, depois de perder cerca de 40% no processo de beneficiamento, em 25 milhões de toneladas de produtos acabados, movimentando um montante da ordem de US\$ 20 bilhões/ano – BERNARDINI (1997) (in SIEDLECKI (1999)).

Existem no Brasil, segundo CHIODI (in MELLO (2004)), próximo a 600 variedades comerciais dessas rochas. O país ocupa a 4^o posição no *ranking* dos maiores exportadores de blocos e cai para 24^o entre os exportadores de produtos acabados – SIEDLECKI (1999).

Salienta-se que tal atividade gera um considerável e preocupante volume de resíduos, mesmo que inerte e atóxico, fato que acaba por trazer desafios à produção como o do descarte ou reaproveitamento desses materiais. Segundo MELLO (2004) é desejável, o quanto possível, o aproveitamento desses resíduos no sentido do alcance de benefícios técnicos e econômicos, de ganhos sociais e da preservação ambiental.

O desenvolvimento sustentável é um tema frequentemente discutido por profissionais de diversas áreas. LEMOS e BARROS (2006) questionam sobre o que deve ser feito, na prática, para atingi-lo, ou seja, para garantir a disponibilidade de recursos naturais que são transformados em bens e serviços necessários à vida cotidiana, para respeitar os limites do planeta para assimilar resíduos e poluição decorrentes da produção e uso de bens e serviços, e para conter o aumento populacional, a pobreza e a desigualdade social.

Segundo o Banco Mundial 1,1 bilhões de pessoas sobrevivem com menos de US\$1,00 por dia. O desenvolvimento social e a criação de riqueza em uma escala de massa, especialmente entre os 4 bilhões mais pobres do mundo, é fundamental para o desenvolvimento social.

MANZINI e VEZZOLI (2005) afirmam que o design sustentável pode basear-se na redução de consumo de material não renovável e na otimização de processos para redução de geração de resíduos.

Segundo LEMOS e BARROS (2006), o design é o resultado de um amplo projeto que envolve inúmeras etapas até atingir a forma dos produtos e os atributos visuais propostos no plano do marketing de uma empresa, tais como necessidade de uso, funcionalidade, viabilidade técnica e econômica, aspectos sócio-culturais e adequação mercadológica. Este trabalho apresenta uma forma de se fazer design com resíduos de rochas ornamentais.

PEVSNER (2002) afirma que há uma procura frenética pela originalidade, uma fé na individualidade criadora, um deleite com as curvas arbitrárias, um vivo interesse pelas possibilidades dos materiais. O presente estudo apresenta, assim, a junção do artesanato popular à prática do eco design com uma abordagem social.

“É quase impossível que a produção artística ou artesanal seja barata”, porque “só se pode obter preços baixos à custa da (...) desvalorização da vida e do trabalho humanos” – MORRIS (1890) (in PEVSNER (2002)).

Através da utilização de resíduos de rochas ornamentais apresenta-se uma solução de design a baixo custo e que permite a inserção social e econômica da comunidade envolvida no projeto.

3. ESTUDO DE CASO

A 410 quilômetros à noroeste de Salvador, Bahia, com aproximadamente 20.000 habitantes, situa-se o município de Ouroilândia, locado em uma região de caatinga onde há registros de estiagem de até dois anos. A cidade possui como principais fontes de geração de renda o cultivo do sisal, a criação de caprinos e ovinos, o setor público e a extração e serragem do mármore Bege Bahia.

Pela concentração de jazidas do Bege Bahia em Ouroilândia instalou-se um parque industrial destinado à extração e desdobramento. O desdobramento de blocos de rochas ornamentais em chapas que beneficiam não só o Bege Bahia, mas granitos e mármore de diferentes regiões, com diversas padronagens e cores.

O Sebrae-BA, a Prefeitura Municipal de Ouroilândia, associações e entidades da sociedade apoiaram inicialmente, em abril e maio de 2007, um curso de mosaico com resíduo de rochas ornamentais, com objetivo inicial de capacitação da comunidade, geração de trabalho e renda. Atualmente, vários consultores trabalham no projeto, como profissionais de design, custos, marketing, cooperativismo e outros. Os alunos formam um grupo de trabalho vinculado à Associação de Artesãos do Município de Ouroilândia, chamado “Mosaicista Luar do Sertão”.

A discussão e o estudo do caso “Mosaicista Luar do Sertão” tem por objetivo apresentar o universo que o envolve e analisar os resultados obtidos pela sua prática, podendo servir de referências críticas e de exemplo de propostas de design social e ambiental, vinculado ao setor de rochas ornamentais.

3.1 Metodologia

Primeiramente efetuou-se um levantamento bibliográfico no qual se pesquisou os principais pontos inerentes ao desenvolvimento do presente artigo, e cujo resumo pode ser encontrado no item 2.

Com o objetivo de coletar informações em diferentes instâncias sobre como o desenvolvimento do projeto “Mosaicista Luar do Sertão” acontece, efetuou-se uma visita ao local, seguida de acompanhamento e entrevistas a pessoas envolvidas diretamente e indiretamente com o projeto, por um período aproximado de 60 dias.

A turma em questão, na qual o projeto é desenvolvido, é constituída por 30 alunos, sendo 80% do sexo feminino e 20% do sexo masculino, com idade entre 16 e 60 anos. O grupo, em sua maioria (93%), é formado por pessoas desempregadas, tratando-se de pequenos agricultores de economia de subsistência, estudantes, artesãos, portadores de necessidades especiais e menores infratores, além de funcionários públicos e mulheres que trabalham em casas de família.

O presente estudo aborda o trabalho referente à confecção de mosaicos utilizados como tampos de mesa, a partir do aproveitamento de resíduos de mármore e granitos, como resultado de trabalho artesanal executado com a metodologia de produção seriada pelo grupo citado acima.

Salienta-se que a metodologia de produção seriada aplicada ao grupo “Mosaicista Luar do Sertão” tem como objetivo possibilitar a execução de um produto com características frequentes de qualidade, resistência, dimensões e estética, mesmo que sua prática – confecção de mosaicos, seja oriunda de um ofício que possui características únicas e pessoais.

Levantaram-se questões referentes à atividade econômica local, o desenvolvimento do projeto, e registrou-se, por meio fotográfico, o desenrolar de tal atividade.

3.2 Desenvolvimento

Em entrevistas a pessoas envolvidas com o projeto certificou-se que, no município de Ourorândia, a renda média mensal obtida por funcionários da prefeitura gira em torno de um salário mínimo, enquanto a indústria de beneficiamento do sisal paga salários comissionados por produtividade, girando em torno de R\$ 40,00 a R\$ 50,00 por semana, equivalente à U\$ 100,00/mês.

A capacidade de produção atual do grupo que constitui o projeto, sendo de, aproximadamente, 4 tampos de mesa de 60 cm de lado ou 60 cm de diâmetro, resultado médio da produção de 1 tampo por semana por pessoa. Dependendo da organização dos mosaicistas, duas pessoas desenvolvem o mesmo tampo em conjunto, mantendo a mesma proporção de capacidade de produção. Esse resultado de produtividade foi obtido após um curso de 180 horas e aproximadamente 03 meses de treinamento e desenvolvimento.

O preço médio de cada tampo, para atender o mercado varejista, é de R\$ 200,00, sendo o custo de produção na ordem de R\$ 87,50 para cada tampo. Esse preço é superior ao preço do tampo de mármore Bege Bahia, de medidas semelhantes, que gira em torno de R\$ 120,00 por unidade.

O objetivo do projeto é a geração de renda em torno de R\$ 450,00/mês para cada cidadão que participa do grupo Mosaicista Luar do Sertão. No entanto, como consequência do aprimoramento da técnica e maior qualificação e apoio, espera-se atingir uma renda de R\$ 700,00/mês. Isso gerará uma condição social e qualidade de vida dignas, segundo os parâmetros locais e regionais de Ourolândia.

A demanda de compra das peças em mosaico desenvolvidas pelo grupo “Mosaicista Luar do Sertão” é garantida pelo desenvolvimento de produtos seriados produzidos artesanalmente, seguindo, pois, a seguinte ordem de ações:

- Metodologia aplicada para confecção dos tampos de mesa;
- Padronagem de dimensionamento das peças;
- Embalagem;
- Estocagem;
- Logística;
- Marketing e propaganda.

A técnica para confecção de mosaico aplicada junto ao grupo “Mosaicista Luar do Sertão” é a do método indireto, que se justifica pela velocidade de execução do mosaico e possibilidade de manejo e transporte por diferentes pessoas até o destino final da peça.

O método indireto para execução de mosaicos com mármore e granitos recebeu um aprimoramento em virtude das necessidades locais. Tais modificações surgiram aos poucos, a partir da observação e estudos relativos ao mosaico, de outros materiais e sistemas, além de experiências empíricas de artesãos.

O desenvolvimento de tais modificações resultou em uma metodologia aplicada para confecção dos mosaicos, baseada nos seguintes parâmetros:

- Definição da temática e do desenho;
- Seleção de materiais e cores;
- Definição de ferramentas, equipamentos e suportes aplicados;
- Definição da dimensão do produto final;
- Planejamento de dimensão das tesselas, ritmo do mosaico;
- Preparação da base de montagem;
- Aplicação de elemento aglutinante e estrutural do tampo;
- Restauro e limpeza.

Há uma relação, mediada pelo Sebrae-BA, entre o grupo “Mosaicista Luar do Sertão” e algumas lojas de móveis e decoração localizadas em Salvador e em grandes cidades baianas. Essas lojas possuem infra-estrutura de marketing e contatos com profissionais de design e arquitetura. Essa relação estabelecida na forma de parceria entre os profissionais respeita os valores de venda, ou seja, quando, por ventura, o consumidor final entrar em contato direto com o grupo de artesãos, não há diferença nos preços, pois a loja é sempre vista como um parceiro, e não como um concorrente.

Tais lojas possuem produtos que acompanham as tendências empregadas na decoração, muito distintas das utilizadas pelo grupo em estudo em função das diferenças regionais e culturais.

As lojas inseridas nessa situação orientam o desenvolvimento de desenhos com o objetivo de alcançar a qualidade estética, as dimensões, os acabamentos e as cores exigidos pela demanda, para garantir, assim, a venda dos produtos.

O grupo "Mosaicista Luar do Sertão", com orientação e apoio do Sebrae-BA, contrata designers, artesãos e artistas para desenvolver imagens e padrões para que sejam executados nos mosaicos. Nota-se, pois, intenções de valorização da cultura regional e sua diferenciação estética.

Com a definição do desenho e cores a serem empregadas, a seleção de materiais torna-se necessária. Dentre os resíduos de mármore e granitos gerados pelas marmorarias, como mostra a figura 1, não há possibilidades de pigmentação nem de mistura de cores como resultado pictórico (ex.: na mistura de tinta amarela com tinta azul, obtém-se o verde).

O mosaico, então, proporciona o efeito óptico onde não há mistura de cores. Caso não haja tesselas com tonalidade verde, por exemplo, seu efeito dá-se na disposição de elementos sólidos azuis e amarelos, gerando uma interpretação do verde pelo expectador.

Como a pigmentação é dada pela própria natureza da rocha, torna-se importante a reserva e coleção de diversos materiais. Como característica natural, um mesmo tipo de rocha pode apresentar diversas tonalidades e cores. Estes materiais heterogêneos proporcionam uma operação seletiva de fragmentos de rochas baseado por cores.

As cores das rochas naturais são dadas pela formação e características geológicas e minerais, e cada fragmento pode ser considerado único. Estas características pétreas implicam na existência de diferenças nas questões mecânicas, que orientam formas de trabalho, ferramentas empregadas, comportamento às ações de uso e do tempo, resistências, texturas e outros.

Há dois mil anos não existiam ferramentas elétricas ou diamantadas para processar as rochas naturais. A técnica musiva "*Opus tessellatum*" caracteriza-se pela execução do mosaico a partir da quebra das rochas em tesselas e sua montagem.

A martelina e o tagliolo, ilustrados na figura 2, são ferramentas forjadas artesanalmente a partir do aço oriundo de automóveis, normalmente de barras de direção de veículos em desmanches de ferro-velho. Tais ferramentas possuem formato de cunha e, com habilidade e destreza, o tessellarium (pessoa que quebra as tesselas em um único golpe) parte o fragmento da rocha em pedaços menores, até a formatação de um cubo de aproximadamente 1 cm de lado.



Figura 1: Abastecimento de resíduos de rochas ornamentais para o grupo "Mosaicista Luar do Sertão".

Dentre as ferramentas definidas para confecção dos mosaicos estão o torquês, que possui ponta de vídea (aço reforçado) e é usado para quebra das tesselas ajustando-as às necessidades da montagem do mosaico, e a pinça, que auxilia na movimentação das tesselas diminutas, ou seja, inferior a 1 cm de lado.

Os suportes aplicados ao desenvolvimento dos tampos de mesa são a bancada de trabalho, utilizada para montagem do mosaico proporcionando condições ergonômicas ao artesão, e o laminado flexível de madeira, utilizado como suporte do desenho, que possibilita a movimentação do mosaico em construção, proporcionado ao artesão melhores condições de trabalho.

Para a construção dos mosaicos também são utilizados a cola, que no caso de Orolândia é constituída de amido de milho na forma de polvilho azedo, utilizada para colagem de papel Kraft no laminado de madeira e colagem das tesselas no mesmo papel; o citado papel Kraft, que é colado no laminado para servir de base para a transferência do desenho; a argamassa AC-III branca, que proporciona aglutinação e ancoragem química e mecânica entre as tesselas; o sisal, orgânico e sustentável, que substitui a tradicional tela de fibra de vidro, usado para melhor estruturação da argamassa; e o laminado rígido de madeira, usado como elemento estrutural do mosaico que proporciona a consistência desejada para um tampo de mesa.

Em função dos objetivos de uso e da demanda oriunda do consumidor definiu-se as dimensões da superfície dos tampos de mesa, tratando-se de um tampo com 60 cm x 60 cm x 3 cm em formato quadrado e, em formato redondo, com diâmetro de 60 cm.

Definido o tipo de tampo a ser trabalhado, o mosaicista parte para o planejamento de dimensionamento das tesselas, para conferir ritmo ao mosaico a ser desenvolvido. No desenho de um produto, quanto mais detalhado e rebuscado ele for, menor devem ser as tesselas. Tal procedimento é adotado para que se consiga o efeito pretendido e o respeito às linhas do desenho – figura 3.



Figura 2: Utilização da martelina e do tagliolo na geração de tesselas.



Figura 3: Esquema - procedimento para colocação da tesselas

O ritmo do mosaico, observado no esquema da figura 4 e na figura 5, é dado pela padronagem do dimensionamento das tesselas e pela sequência da distância em que as mesmas são dispostas para o preenchimento do mosaico. Pode-se obter "efeitos de movimento" diferenciados em função do ritmo de montagem do mosaico.

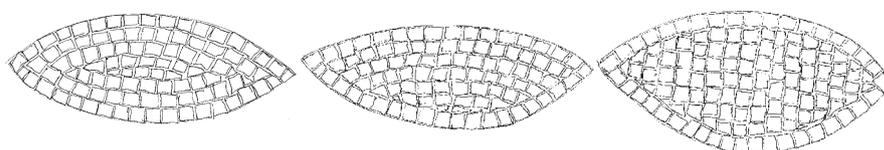


Figura 4: Esquema: possíveis ritmos utilizados para colocação da tesselas.

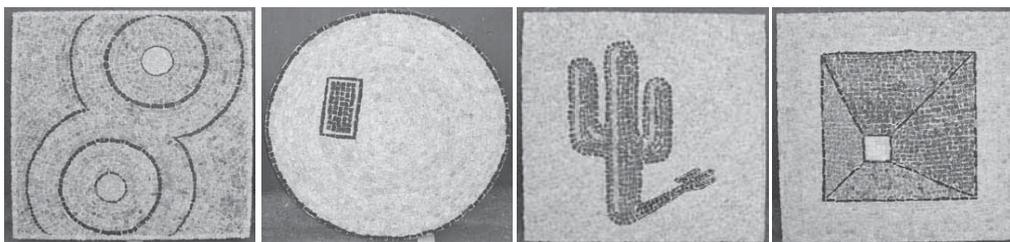


Figura 5: Exemplos de aplicação de diferentes ritmos aos mosaicos do grupo "Mosaicista Luar do Sertão".

A caracterização do método indireto, utilizado como técnica pelo grupo "Mosaicista Luar do Sertão", é a construção do mosaico em uma base anteriormente à sua destinação final. Uma superfície plana é indicada como base de montagem para que o resultado final do mosaico proporcione, mesmo com a utilização de tesselas sem acabamento, um resultado plano e homogêneo.

A montagem do mosaico sobre um laminado flexível proporciona a condição de movimentação sobre a bancada, possibilitando a aproximação e o afastamento do mosaico de acordo com as condições desejadas pelo mosaicista.

Prepara-se uma superfície lateral, como a ilustrada na figura 6, para delimitar as dimensões do mosaico e servir de suporte para a lateral do tampo de mesa em construção. Como resultado final, o tampo é composto de mosaico na superfície e na lateral.



Figura 6: Aplicação de superfície lateral à construção de um mosaico por integrante do grupo "Mosaicista Luar do Sertão".

Juntamente com a argamassa aplica-se uma trama de sisal com o objetivo de "armar" o mosaico - figura 8. Esse procedimento impede o descarte imediato da peça quando ocorre a quebra acidental de um mosaico, pois facilita seu restauro, uma vez que mantém unidas as partes quebradas.



Figura 8: Aplicação de trama de sisal à construção de um mosaico por integrante do grupo "Mosaicista Luar do Sertão".

Estando o tampo do mosaico seco, proporciona-se o umedecimento da superfície plana na qual está colada uma camada de papel Kraft. Como a peça está em um estado rígido e o papel Kraft umedecido, descola-se o tampo da base flexível.

Dá-se, então, início à limpeza do mosaico com o uso de água e escova de cerdas plásticas, para retirar o excesso de papel e cola.

Eventualmente algumas tesselas são deslocadas, havendo o processo de restauro. Escarea-se, então, o espaço de onde a tessela saiu, havendo posterior encaixe da respectiva peça e, sua fixação, dá-se com a mesma argamassa utilizada anteriormente.

Como elemento aglutinante das tesselas do mosaico tem-se a aplicação de uma camada de argamassa branca flexível AC-III, com aproximadamente 3 mm a 5 mm de espessura, tanto na superfície como na lateral do mosaico montado, como pode ser observado na figura 7.

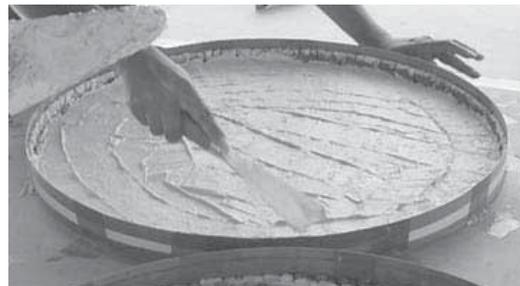


Figura 7: Aplicação de elemento aglutinante à construção de um mosaico por integrante do grupo "Mosaicista Luar do Sertão".

Após a secagem da argamassa aplica-se o laminado rígido de madeira utilizando o mesmo material aglutinante - argamassa flexível AC-III, ilustrado na figura 9.



Figura 9: Aplicação de laminado rígido de madeira à construção de um mosaico por integrantes do grupo "Mosaicista Luar"

A armazenagem de um tampo de mosaico, assim como seu transporte, dá-se de maneira semelhante à armazenagem e transporte de mármore, granitos e vidros, assim como os cuidados inerentes a esses produtos.

Seu armazenamento (figura 10) e transporte devem ser na posição vertical procurando evitar a concentração de seu peso em um ponto específico. Esse excesso de carga pode favorecer o deslocamento de tesselas.



Figura 10: Armazenamento de tampos de mesa construídos a partir de mosaicos pelo grupo “Mosaicista Luar do Sertão”.

3.3. Discussão

O grupo denominado “Mosaicista Luar do Sertão” apresenta uma metodologia de desenvolvimento de trabalho em série coerente e aplicável à situação em que se insere tal projeto. Os artesãos seguem os parâmetros criados para confecção dos tampos atingindo o objetivo proposto de padronização da qualidade, dimensionamento e estética.

A implantação de design estratégico, assim como o acompanhamento contínuo de designers, proporciona o desenvolvimento de novos produtos e se justifica como fator de diferencial competitivo na inserção dos mesmos no mercado. Os tampos de mesa em mosaico com resíduos de mármore e granitos, em mercados de consumo, destacam-se para vendas regionais e até internacionais de produtos artesanais.

Apesar de o projeto possuir apoio de lojistas e profissionais e manter uma produção com objetivo de venda a partir da concepção de um objeto de design, atribui-se a diferença de preço entre uma peça em mármore Bege Bahia e um tampo confeccionado pelo grupo devido à agregação do valor do trabalho artesanal.

Os produtos desenvolvidos em questão – tampos de mesa a partir da confecção de mosaicos com resíduos de mármore e granitos podem ser classificados como objetos de design, uma vez que atendem os parâmetros para sua devida caracterização, ou seja, são resultados de um projeto que envolve necessidade de uso, funcionalidade, viabilidade técnica e econômica, aspectos sócio-culturais e adequação mercadológica.

A preocupação em preservar o meio ambiente através da utilização de resíduos de mármore e granitos é notável, uma vez que tais rochas ornamentais apresentam dureza e peso superiores às matérias primas comumente utilizadas para confecção de mosaicos e é perceptível a disposição e empenho dos artesãos em trabalhar com tais recursos não renováveis.

A abordagem do eco design existe, consideravelmente, no projeto, uma vez que há a utilização sustentável e otimizada de recursos naturais e energia, a redução e a reciclagem de resíduos, e a minimização dos impactos ambientais produzidos pelo mau uso do citado recurso não renovável – rochas ornamentais.

O montante de resíduos oriundos do parque industrial destinado à extração e desdobramento de blocos de rochas ornamentais instalado no entorno de Ourolândia é extremamente grande e permite avaliar o volume a nível nacional e mundial. Tal projeto apresenta, na íntegra, a utilização desse subproduto de forma bem sucedida e oferece uma opção de aproveitamento desses resíduos.

O grupo encontra-se apto à mobilização e aquisição de matéria-prima e insumos e à administração da produção das peças musicais (peças de mosaico) até a colocação do produto final na embalagem, ou seja, aptos à produção.

A questão social é nitidamente abordada, uma vez que se trata de pessoas com deficiência sócio-econômica que, através do trabalho artesanal, desenvolvem produtos que geram uma renda de, aproximadamente, R\$ 450,00 por mês, valor superior à média mensal do município. Estima-se, ainda, que esse valor chegue aos R\$ 700,00 por mês.

Os alunos do projeto desenvolveram a habilidade em trabalhar com os mosaicos de forma profissional e, apesar do baixo nível de escolaridade, foram capazes de assimilar perfeitamente as técnicas de execução, o que reflete na melhoria da renda, auto-estima e qualidade de vida. Este grupo é um exemplo de determinação e prova de que a presente metodologia de construção pode ser exercida por qualquer indivíduo.

A geração de trabalho e renda obtidos com o projeto agrega valores pessoais e profissionais ao grupo atendido, sendo de extrema riqueza para a auto-estima dos cidadãos e desenvolvimento do município.

O maior problema que pode ocorrer ao grupo Mosaicista Luar do Sertão é seu poder de aglutinação e trabalho em equipe ao longo do tempo. Uma nota que deve ser observado a diversos trabalhos realizados com comunidade carentes. Faz-se necessário a motivação do grupo por entidades religiosas locais e representantes comunitários.

O maior contribuinte efetivo neste trabalho, que não existe no momento, mas que deve ser, é o empresariado do setor de rochas ornamentais. Inicialmente por uma, relativa, dívida que o setor causa ao meio ambiente pela atitude extrativa do mineral, acrescido de uma responsabilidade social e econômica. Dentre inúmeros retornos que o empresário/investidor pode conquistar está relacionado à sua imagem corporativa, que pode ser usado com ferramenta de marketing social, um elemento de destaque para consumidores cada vez mais informados e exigentes de produtos e empresas sócio e ambientalmente responsáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grupo "Mosaicista Luar do Sertão" apresenta, com sucesso, o desenvolvimento de um projeto capaz de unir valores tais como o desejo pela preservação ambiental e a vontade em transformar a sociedade no que se refere à gritante diferença social.

Tal situação concretiza-se pela união do design ao projeto. O desenvolvimento de mosaicos, nesse sentido, une o atraente, o funcional e o objetivo de venda e geração de lucro para a então "empresa" de artesãos.

O designer é um profissional qualificado para atuar nesse tipo de projeto por sua habilidade criativa e sua flexibilidade que permitem o desenvolvimento de soluções diferenciadas, adaptadas às necessidades e dificuldades apresentadas por cada comunidade.

Conclui-se, pois, que é possível fazer design abordando o desenvolvimento sustentável e a questão social, servindo assim, de estímulo ao desenvolvimento de outros projetos e práticas como essa.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. (Org.). *Tecnologias de lavra e beneficiamento de Rochas Ornamentais*. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996.
- BORSOI, A.; DOXSEY, J. Efeitos da exploração de rochas ornamentais na vida dos trabalhadores e na população: o caso especial de implantação do setor na região norte do estado do Espírito Santo. In: BORSOI, I.; SCOPINHO, R. *Velhos trabalhos, novos dias: modos atuais de antigas atividades laborais*. Fortaleza: Edições UFC, 2007.
- BEVERIDGE, P.; PASCUAL, E. *Mosaico*. Lisboa: Editorial Estampa, 2005. 143p.
- FILHO, E.; TRUZZI, O. Continuidades e rupturas no processo de trabalho dos marmoristas: o caso de São Carlos, 1890 aos dias de hoje. In: BORSOI, I.; SCOPINHO, R. *Velhos trabalhos, novos dias: modos atuais de antigas atividades laborais*. Fortaleza: Edições UFC, 2007.
- GALLI, Giovanna. *L'art de la Mosaïque*. Paris: Armand Colin, 1991.
- HOWARTH, Maggy. *The art of pebble mosaics: creative designs and techniques for paths and patios*. Great Britain: Search Press, 1994.
- LEMONS, H.; BARROS, R. *Ciclo de vida dos produtos, Certificação e rotulagem ambiental nas Pequenas e Médias Empresas*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2006.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. *O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis*. São Paulo: Edusp, 2005.
- MELLO, Ivan Sérgio. *A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade*. São Paulo: IPT, 2004.
- MORRIS, William. *Arte y Sociedad Industrial*. Habana: Editorial Arte y Literatura, 1985.
- MUNARI, Bruno. *Das Coisas Nascem Coisas*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- PEVSNER, Nikolaus. *Os Pioneiros do Desenho Moderno: de William Morris a Walter Gropius*. São Paulo: Martins Fontes, 2002.
- RUSKIN, J.; BRANDÃO, Luis E. (trad). *As Pedras de Veneza*. São Paulo: Martins Fontes, 1992.
- SIEDLECKI, K. et al. *Perfil da Indústria de Rochas Ornamentais*. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 1999.
- SOLER, Fran. *Artes & Ofícios dos Mosaicos: técnicas essenciais e projectos clássicos*. Singapura: Star Standard Industries, 2003.

CAPÍTULO 34

CUBA PARA BANHEIROS COM O USO DE CHAPAS FINAS DE GRANITO – UMA ALTERNATIVA ÀS CUBAS CERÂMICAS

Ludson Moulin Zampirolli¹, P. G. Barbosa & J. J. D. Câmara

RESUMO

Como o granito e cerâmicas processadas são extraídos da natureza e não são renováveis, será analisado com precisos processos de beneficiamento do granito. O objetivo da pesquisa foi o desenvolvimento de uma cuba para banheiro de granito, mais leve que modelos semelhantes em cerâmica, com maior variedade de cores, proporcionar maior reflexão sobre o impacto ambiental gerado pelo granito brasileiro e estimular o desenvolvimento de novas pesquisas e produtos no setor de rochas ornamentais.

Palavras chaves: Granito; Cuba; Design sustentável.

ABSTRACT

Granite and processed ceramics are extracted from nature, and are not renewable. It is going to be analyzed the uttermost process of manufacturing of granite. The aim of the research was to develop a basin made of granite for toilets, lighter than the ceramic ones, with a wider palette of colour. That proportion to a better reflection on environmental impact generated by Brazilian granite, and stimulates the development of new researches and products in the Ornamental Stone sector.

Keywords: Granite, Basin, Sustainable design

¹ Professor Especialista, Design de Produto/UCL – E-mail: lmzampirolli@terra.com.br

1. INTRODUÇÃO

Segundo John Ruskin (1992), na maior parte do globo, encontramos um rochedo providencialmente situado para servir ao homem, onde pode-se fazer uma analogia aos mármore e granitos atualmente.

Na construção civil, as cubas para banheiros representam um importante produto, já que, em quase na totalidade destes espaços, utilizam-se pelo menos um destes produtos. Seu uso, principalmente, está condicionado a facilitar o comportamento de higienização do ser humano, facilitando atividades como lavar as mãos e rosto, escovar os dentes e fazer a barba.

O início da pesquisa deu-se na comparação dos modelos de cubas feitas de cerâmica com as cubas feitas de mármore maciços. Têm-se modelos cerâmicos com padronização de dimensões e cores, característicos de processos industriais. Enquanto os modelos de mármore são produzidos artesanalmente, cores variadas e únicas, com desperdício aproximado de 80% da matéria-prima em seu beneficiamento e peso demasiado em comparação com modelos de cubas cerâmicas oferecidas ao consumidor.

Segundo NICOLETTI (2002), na comparação entre cerâmica e mármore para o revestimento de piso, na Itália, o resultado do ciclo de vida da cerâmica é duas vezes mais agressivo ao meio ambiente que o do mármore, com base em dados científicos na metodologia de ACV (Análise do Ciclo de Vida) de Produtos. A agressividade ao meio ambiente, neste caso, foi condicionada ao aquecimento global, toxicidade humana e acidificação.

A melhora de performance dos processos de beneficiamento do mármore, assim como novos designs e usos, podem representar melhorias no meio ambiente, na construção civil e na sociedade. Como o mármore tem sua formação calcárea e sedimentar, apresenta deficiente resistência para uso como lavatório de banheiro, devido aos agentes químicos e corrosivos de alguns produtos de higiene. O granito foi proposto como alternativa e solução devido à resistência para a finalidade de cuba para banheiro e contemplar semelhanças nas características de extração e beneficiamento em relação ao mármore.

Segundo CHEHEBE (1997), o fator da origem energética pode ser fundamental na tomada de decisões de um projeto, e aplicado às condições brasileiras de fonte energética, pode-se colocar os produtos de mármore e granitos brasileiros em destaque no cenário mundial, além do território nacional. Entre outros aspectos, segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), o design sustentável baseia-se na redução de consumo de material não renovável e na otimização de processos para redução de geração de resíduos.

Esta pesquisa foi desenvolvida no APL de Rochas Ornamentais do Sul do Espírito Santo – Brasil, desde setembro de 2005, junto a nove micro e pequenas empresas, com apoio do Sebrae-es, cujo objetivo foi o desenvolvimento de produtos seriados de rochas ornamentais para exportação e atender o mercado nacional. Os resultados positivos obtidos foram: a participação das feiras internacionais do setor de rochas ornamentais, diversas publicações em revistas especializadas e o 1º lugar no Prêmio CNI 2006, etapa Estadual, na categoria Design, concedido pelo Instituto Euvaldo Lodi – IEL-ES.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Por se tratar de um assunto pouco conhecido, relacionando simultaneamente design, mármore e granitos, a pesquisa teve origem na análise de elementos semelhantes à pesquisa proposta, segundo MUNARI (1998), convergindo informações díspares, ao mármore e ao granito, como no caso de processos aplicados à marcenaria, análise de informações e procedimentos empíricos de profissionais do setor, procedimentos e reflexões pertinentes ao design industrial. Levantamentos e diagnósticos de meios e processos de extração, tecnologias, máquinas e equipamentos, recursos humanos, processos de beneficiamento e acabamento caracterizaram a pesquisa quanto possibilidades de investigativas para análise e inovação.

Com base em tendências e comportamento de consumo, direcionados ao público da cidade de São Paulo-SP, Brasil, integrado à ferramentas do design de produto, definiu-se um projeto, especificando dimensões, volumetria e propriedades estéticas e funcionais para uma cuba feita com chapas de granito. Esse projeto foi o ponto de partida para essa pesquisa, analisando processos fabris que proporcionem melhor eficiência e performance de produção e venda.

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Baseada em aspectos gerais de processos de ciclo de vida de produtos, segundo CHEHEBE (1997), como comparativo ao uso do granito, e na análise quantitativa para definição de alternativas de solução, segundo MUNARI (1998). No desenvolvimento de modelos comparativos de eficiência na minimização de geração de resíduo, aproveitamento de material e produção. No desenvolvimento de modelos de representação bi e tridimensional, com objetivo de proporcionar melhor compreensão aos funcionários da linha de produção. A validação da metodologia será mensurada pela eficiência formal e pela geração de informações que promovam projetos futuros.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa no desenvolvimento de cubas de granito com chapas finas de granito, os dados envolvidos são referentes a procedimentos de preparação, desde o início da extração e demais etapas até a confecção final do produto, disponível para embalagem, ovação de container e envio ao destino consumidor atacadista.

4.1 Extração

Não será considerado nesta análise o posicionamento geográfico para um tipo específico de granito, pois há diferentes condições de extração, mais simples ou complexas, próximas ou distantes de unidades de processamento e centros de consumo, assim como diferenças nos processos de logística. Nos preparativos da área para início de abertura de lavra há movimentação de terra, para exposição e livre acesso às rochas para serem extraídas. Sua extração dá-se por meio de perfuração com martelos pneumáticos, com brocas abrasivas e fios diamantados. Baseia-se praticamente em procedimentos abrasivos. Da rocha disposta na natureza, são retirados os "matacões" com dimensões aproximadas de 30x8x2 metros, ou seja, aproximadamente 480m³ de rocha, o equivalente a 1440ton, na comparação de 3ton/m³. Na seqüência, os mata-

ções são desmembrados em blocos comerciais padronizados para produção de chapas ou blocos, que é a matéria-prima para produção de ladrilhos.

Na pesquisa, será analisado os blocos para a produção de ladrilhos, que possui dimensões aproximadas de comprimento e largura, 2,4 x 2,0m respectivamente, enquanto a altura é orientada em seu corte para múltiplos de 0,32m. A determinação para a altura ser múltiplos de 0,32m, ocorre em função da padronização e gabaritos das máquinas existentes no mercado, que objetivam padronização para melhoria de aproveitamento do material e atender dimensões de padrão internacional.

Dos processos de extração, o bloco destinado à produção de ladrilhos apresenta menor desperdício da matéria-prima, pois no processo de desdobramento do bloco em chapas, o maquinário existente no setor industrial comporta adequações para diversas larguras e espessuras. A análise dos resíduos gerados no processo de extração não será contemplada nesta pesquisa.

4.2 Desdobramento em chapas:

A continuidade do beneficiamento dos blocos de granito ocorre no desdobramento do bloco em chapas. A espessura das chapas é determinada em função da demanda de mercado. Dois casos serão mencionados nesta pesquisa, o desdobramento de blocos para produção de chapas com finalidades de execução de pisos, bancadas, mesas e diversos outros produtos acabados, e o desdobramento de blocos para a produção de ladrilhos padronizados para revestimento de piso.

No caso dos blocos para produção de chapas, o desdobramento é feito por teares, que podem ser os convencionais que utilizam granalha para o corte, os diamantados ou os teares de fio diamantado. As diferenças entre os teares estão relacionadas basicamente à performance em relação a consumo de energia, geração de resíduo inerte e não inerte, velocidade de corte, melhor rendimento de m^2/m^3 e custos de produção e manutenção. Basicamente cumprem a mesma função, o corte do bloco em chapas. As espessuras convencionais de chapas variam de 20 a 30 mm, mas em casos específicos, essa espessura pode ser aumentada ou diminuída. Em função das características de cada tipo de rocha granítica, a espessura determinará maior ou menor resistência de fratura.

Como objetivo desta pesquisa, os blocos específicos para a produção de ladrilhos para revestimento, são processados pelos "talhablocos", que são serras circulares, de seis a cinquenta lâminas dispostas paralelamente por um eixo, espaçadas de tal maneira que o resultado do corte seja de 10mm de espessura. "Em função do diâmetro das serras, limita-se a profundidade que atinge o bloco, que na grande maioria das indústrias do APL de Rochas Ornamentais do Sul do Espírito Santo, limita-se a 12 polegadas, com seu equivalente a 305mm. O resultado deste processo são "chapas" denominadas "tiras" de 305mm de largura, 10mm de espessura, e o comprimento varia em função do bloco.

Dos processos de desdobramento, o talhabloco possui melhor eficiência, pois, na produção de chapas com 10 mm de espessura, reduz pelo menos a metade da espessura convencional do granito, comparada com o uso de chapas comerciais de 20mm. Segundo MANZINI e VEZZOLI (2005), uma das características sustentáveis no desenvolvimento de produtos são a minimização do uso de recursos naturais não-renováveis e a diminuição de peso. Neste caso, a relação de peso está diretamente ligada à espessura do material.

Em ambos os casos de desdobramento do bloco em chapas, gera-se resíduo em forma de lama, que por um processo de decantação e prensagem, há o reaproveitamento da água no processo de desdobramento, mas essa análise não será contemplada nesta pesquisa.

4.3 Polimento das chapas

Limitando-se às tiras de granito, oriundas do talhabloco, estas são dispostas numa esteira e encaminhadas para uma seqüência de “cabeçotes” com elementos abrasivos, numa ordem decrescente de dureza e composição, que gradativamente, por um processo abrasivo, a chapa passa de um estado bruto para o estado polido.

Nesse processo, gera-se resíduo que não será contemplado nessa pesquisa.

4.4 Corte e acabamento

Para o processo industrial destinado à produção de ladrilhos de granito, para revestimento de piso, o maquinário instalado busca aperfeiçoar toda a cadeia produtiva, com objetivo de otimizar o processo, minimizando custos de deslocamento e manobra do granito. Então, numa mesma esteira, as tiras já polidas dirigem-se às serras de corte. Serras circulares diamantadas que tem por objetivo eliminar arestas, esquadrear e calibrar as dimensões para atender as exigências de qualidade junto aos consumidores, transformando-se então num ladrilho padronizado. Na seqüência, as bordas dos ladrilhos, as que foram cortadas, passam por um processo de lixa e acabamento, aptas para serem embaladas e encaminhadas ao container.

Também no processo de corte e acabamento, há a geração de resíduo, mas estes não serão analisados nesta pesquisa.

4.5 Cubas maciças

As cubas maciças encontradas no mercado em mármore e granitos, em sua maioria são produzidas a partir de blocos maciços da matéria-prima. Pelo processo de abrasão, com disco diamantado e torno, obtém-se o formato da cuba. Um processo que gera em média 80% de resíduo.

4.6 Cubas cerâmicas

Produzidas industrialmente, em conformidade de padronização de forma, cores e embalagem, atendem uma grande demanda da construção civil.

4.7 Mercado consumidor

Pesquisa de hábitos e comportamentos de consumo em diversas regiões do mundo, o que permite analisar tendências de design e decoração, por meio de entrevistas com profissionais de design e arquitetura, e por periódicos internacionais. O direcionamento desta pesquisa foi direcionado ao habitante da cidade de São Paulo-SP, Brasil, com renda superior a U\$ 2.000,00 mensais.

5. ANÁLISE DOS DADOS

Os processos de preparo e beneficiamento da indústria que utiliza o talhabloco, otimiza o melhor rendimento e aproveitamento de material, minimizando a geração de resíduos e aumentando a produtividade de uma unidade de matéria-prima. Atende questões da produção industrial devido ao elevado fator de tecnologia e automação, promovendo grande produtividade. O produto resultante deste processo é somente ladrilho de granito para revestimento de pisos e paredes, com baixo valor agregado, atendendo parte da demanda da construção civil para revestimento e proporcionando valores competitivos se comparados a outros materiais.

No processo de produção de ladrilhos de granito, que antecede o corte e esquadrejamento, obtém-se tiras de granito com 320mm de largura, 10mm de espessura e comprimento que varia de 1000 a 3000mm, que podem ser polidas nos dois lados.

O processo de beneficiamento de cubas maciças de granito é artesanal, com baixa produtividade e elevada geração de resíduo. Possui, peso demasiado quando comparado às cubas cerâmicas com formatos e volumes equivalentes.

Segundo NICOLETTI (2002), na comparação dos resultados do ciclo da vida com mármore e cerâmicas para revestimento de piso, os processos de desenvolvimento de cubas cerâmicas, analogicamente uma cuba de granito, a partir de chapas finas, com 10 mm de espessura, proporcionará uma alternativa às cubas cerâmicas presentes no mercado da construção civil.

Para o produto cuba, foram analisados modelos que proporcionaram semelhanças de formas, cores e dimensões para atender o mercado brasileiro, o qual foi o principal objetivo dos empresários pesquisados para expansão de mercado, e também atendendo o mercado varejista de lojas de acessórios para banheiros em grandes capitais do Brasil.

6. DESENVOLVIMENTO DA CUBA DE GRANITO

Atualmente, o Sebrae subsidia de 50 a 70% consultorias em design para as indústrias de Rochas Ornamentais, nos APLs de Rochas Ornamentais do ES. Uma oportunidade e um benefício que cria condições de contratação de um profissional em Design por uma pequena empresa, e o designer recebe sua remuneração compatível com o mercado de trabalho integralmente. Uma condição boa para ambos os lados, mas o empresariado do setor de Rochas Ornamentais ainda desconhece o profissional em Design, e o segmento de Rochas Ornamentais ainda é mítico ao Designer. Há a necessidade do profissional em design explicar o que faz, como faz e de que forma, convencer o empresariado e conquistá-lo. Segundo MUNARI (1998), o fator quantitativo, nessa fase de convencimento, é tão importante quanto fatores funcionais, ergonômicos, estéticos, produtivos e outros.

Não foi encontrado bibliografia que caracterizasse os produtos de rochas ornamentais, juntamente com processos de beneficiamento, para orientar os profissionais de projeto. Esses profissionais são os responsáveis diretos pela seleção de materiais aplicados na construção civil e decoração, e o design aplicado por estes profissionais quando utilizam as rochas ornamentais, em geral dá-se pela experiência empírica que este profissional tem com o setor de rochas.

No produto cuba, o resultado foram definições de forma, dimensão e cores, em seu caráter visual, estético e funcional em sketches e renders manuais, que foram apresentados aos empresários. Selecionado o modelo para desenvolvimento, o mesmo foi formalizado com dimensões através de software Rhinoceros 3d, que gerou informações de gabaritos e moldes de fácil compreensão aos profissionais de linha de produção e acabamento do setor de mármore e granitos.

O uso da informática, especificamente com softwares de projeto 2 e 3d, fazem parte da rotina de trabalho do profissional que atua com projeto. Atualmente, o uso de ferramentas informáticas não são limitadas somente aos grandes centros urbanos, onde é possível encontrar profissionais que dominam esses softwares em pequenas cidades e no mundo inteiro, assim como comunicarem-se virtualmente pela internet de forma mundial.

No desenvolvimento tridimensional com o uso da informática, desenvolveu-se modelos gráficos que geram informações não somente estéticas, mas principalmente técnicas. Foram gerados sistemas de corte e encaixe específicos para o produto, antecipando problemas construtivos do mesmo. Com a geração de diversas possibilidades, assim como dificuldades, condicionantes e, principalmente, soluções com auxílio de software 3d, foi definido o planejamento da execução de uma cuba, que recebeu o nome "Ita 42", conforme ilustração 1.

Os gabaritos e moldes, desenvolvidos em 3d, conforme ilustração 2, assim como os processos produtivos, foram desenvolvidos de forma a atender recursos humanos e o maquinário instalado das indústrias que desenvolveram o produto. Também atende as necessidades de aproveitamento máximo da matéria-prima, minimizando resíduos. As ferramentas de design devem sempre ser aplicadas às condições e possibilidades das empresas, proporcionando aos melhores índices de performance e eficiência.

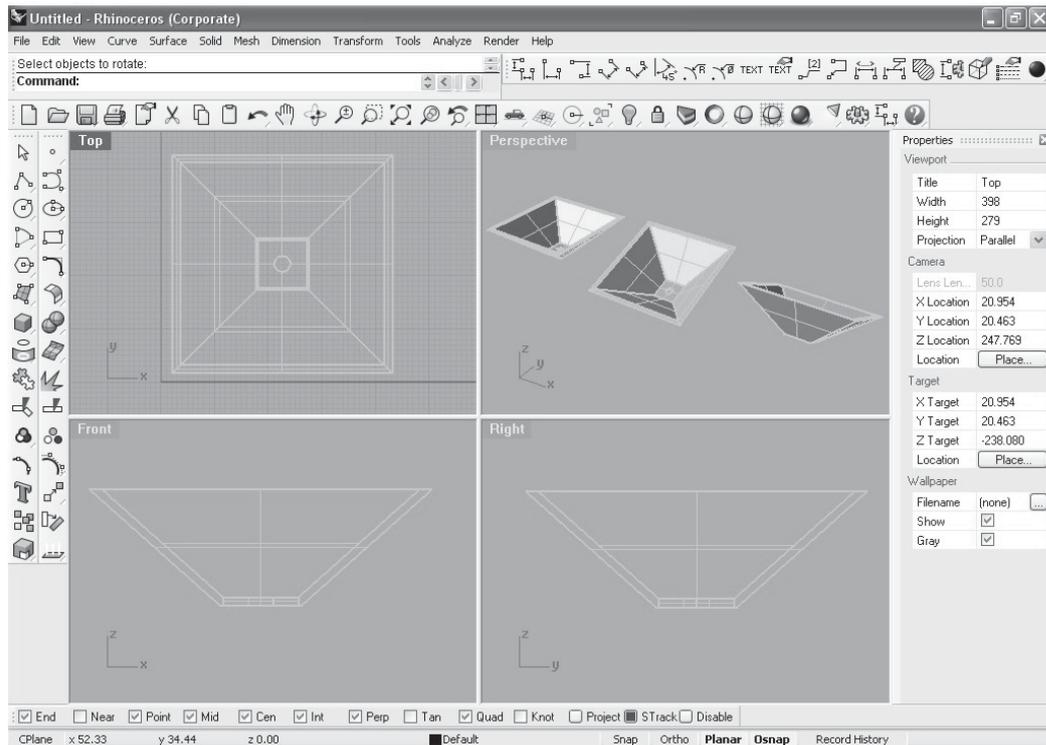


Ilustração 1: desenvolvimento da cuba Ita 42 com auxílio de software 3d de modelagem.

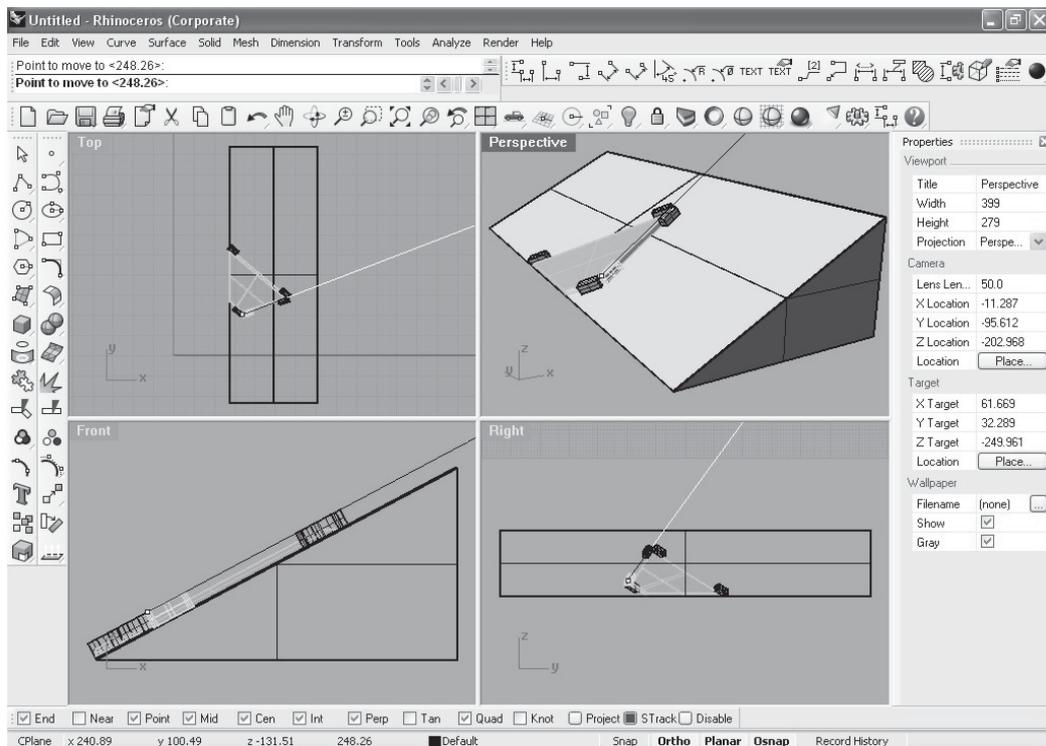


Ilustração 2: utilização de software 3d de modelagem para simulação de desenvolvimento de gabarito.

No processo de produção de ladrilhos de granito para revestimento, foi interrompido após a fase de polimento das tiras de granito, tendo como resultado as tiras de granito polido.

Orientou-se então, o polimento da outra superfície, obtendo uma chapa de granito com 320mm de largura e 10mm de espessura com comprimento que varia de acordo com a dimensão do bloco, polido nos dois lados. Nesse momento, esse produto, a chapa de granito, possui a metade da espessura mínima convencional de chapas, que são de 20mm, e também com a metade de seu peso. Vale considerar que essa relação de peça dá-se na comparação da unidade funcional m^2 (metro quadrado). Também apresentam muitas diferenças as "novas" chapas de 10mm com as convencionais de 20mm. Enquanto a "nova" chapa de 10mm possui dimensão aproximada de 320x100mm e o comprimento em função da dimensão do bloco, a chapa convencional de granito com 20mm possui dimensão aproximada de 1700x200mm e o comprimento em função do bloco.

Na seqüência do desenvolvimento, fez-se a seleção de adesivo para colagem das peças de granito e execução das cubas que resista a diferenças bruscas de temperatura. Ensaio de resistência e crash test.

- Desenvolvimento de mock-up em isopor, ilustração 3, que é a representação tridimensional feita com material de fácil manipulação, para avaliação estética, ergonômica e funcional.



Ilustração 3: desenvolvimento de mock-ups em isopor para avaliação estética, ergonômica e funcional

- Desenvolvimento de protótipo e gabaritos de montagem,
- Reunião e treinamento da equipe de produção para implantação de metodologia de produção.
- Desenvolvimento de cabeça de série, e início da produção.

6.1 Resultados alcançados

- Novo uso do talhabloco, aumentando sua utilização para a produção de novos produtos, no caso, as chapas finas para desenvolvimento de cubas de granito.
- Com o uso de gabaritos e moldes houve, entre vários aspectos, redução média em 10 vezes o tempo de produção de cada peça, na condição de fabricação de um lote mínimo de 50 peças. A produtividade reduziu de 12 horas/homem/peça para 90 minutos/homem/peça.
- Metodologia e procedimentos de produção seriada de corte, montagem e acabamento compreendidas pela equipe de produção.
- Padronização no produto acabado.

- Dispositivos de controle de qualidade, otimização de processos, redução na utilização de insumos, custos e resíduo.
- Fotografia, ilustração 4, e material de marketing e promoção.



Ilustração 4: Cuba Ita 42, com chapa de 10mm de granito Santa Cecília. Fonte: autor

7. CONCLUSÃO

Do problema à solução, segundo MUNARI (1998), a pesquisa adaptou uma metodologia de análise e desenvolvimento para uma cuba feita de granito, com até sete quilogramas, de acordo com a diferença de granitos e suas densidades, que de acordo com as características naturais do granito, seja oferecido ao consumidor final uma grande variedade de cores, e que apresente características mais adequadas ao meio ambiente, da sua extração ao descarte, segundo CHEHEBE (1997).

Um produto desenvolvido a partir da otimização de recursos humanos e maquinário existente, no cenário geral de pequenas marmorarias do APL de Rochas Ornamentais do Sul do Espírito Santo – Brasil, ampliando os resultados do setor industrial na agregação de valores para a região.

A conscientização do impacto ambiental no processo de extração e beneficiamento do granito, no Brasil, gera resíduos que possuem grande potencial de transformação em outros produtos, transformando-se em subprodutos.

Maior aproximação entre as indústrias do setor de rochas ornamentais com profissionais de projeto, no caso desta pesquisa um Designer de Produto, pode trazer resultados de economia, otimização de processos, minimização de impacto ambiental, caráter de inovação para o setor, entre outros benefícios.

8. QUESTIONAMENTOS E REFLEXÕES

Políticas públicas estão focando esforços para a Terceira Onda do Setor de Rochas Ornamentais, especificamente no desenvolvimento de produtos acabados, com maior valor e destinado ao consumidor final. Esse esforço ainda não deslançou devido ao abismo existente entre o consumidor final e o setor de Rochas Ornamentais. O consumidor final desconhece o setor de Rochas Ornamentais, e na comparação com outros produtos, não existem informações, ações de marketing e merchandising, mostras, concursos e outros meios que informem e despertem o interesse sobre as Rochas Ornamentais. Do outro lado do abismo, o setor de Rochas Ornamentais, que até o momento, seus esforços foram para atender a primeira e segunda onda, ou seja, extração, corte de blocos e polimento de chapas, com foco num produto de baixo valor agregado, na competição por preço, no ganho por volume e por menores gastos, muitas vezes desconhecendo o destino final de seu produto, o consumidor final. Nesse percurso, as questões relacionadas ao meio ambiente foram tratadas como entraves e dificuldades, e por nossa sorte, algumas empresas vieram buscando ao longo do tempo, metodologias que minimizam o impacto ambiental e são referências para o setor nos últimos anos.

O designer vem para interligar essa cadeia produtiva com o consumidor final. Sua visão generalista e conhecimento técnico para desenvolvimento de novos usos e produtos, pode favorecer ambos os lados. Para o consumidor final e para a sociedade, o uso consciente de produtos desenvolvidos com Rochas Ornamentais e seus subprodutos, ciente de seu impacto ambiental, prolongando ao máximo seu uso, onde o descarte pode transforma-se em um novo produto, e assim sucessivamente. Que com o domínio e ciência da cadeia produtiva do setor de Rochas Ornamentais, possam viabilizar novos processos de lavra, beneficiamento, corte, acabamento, máquinas, ferramentas e design de produtos e espaços, minimizando o impacto ambiental, gerar trabalho, renda e qualidade de vida à sociedade.

9. REFERÊNCIAS

- BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- CHEHEBE, José Ribamar Brasil. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark ED, CNI, 1997.
- MANZINI, E; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Edusp, 2005.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. Tradução José Manuel de Vasconcelos. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NICOLETTI, G.M.¹; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. **Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles**. Itália: Journal of Clear Production: Elsevier, 2002. v. 10. p. 283 – 296.

PAPANEK, Vitor. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições 70, 1998.

RUSKIN, John. **As pedras de Veneza**. Tradução Luís Eduardo de Lima Brandão. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

CAPÍTULO 35

MINERAL PRODUCTION CLUSTERS EVALUATION THROUGH THE SUSTAINABILITY MATRIX

Carlos César Peiter¹, Roberto Cerrini Villas Boas

ABSTRACT

Production clusters are well-located economic and geographic areas where a specific production chain is in operation and involves a variety of local enterprises (industrial, trade, services). Brazil released a public policy to incentive and build production clusters and, amongst them, the mineral branch. The sustainability matrix, as described in this papers, is a simple tool applied by the authors to provide a quick qualitative diagnosis of mineral clusters in order to check how the sustainability aspects (social, environmental, institutional and economical) are influenced by some of the most essential variables which controls the mineral activity, as for example: workers and managers skills, minerals prices, natural resource availability, banking loans, etc. This paper presents the obtained results from a given natural stone production cluster, thus exemplifying the usefulness of the sustainability matrix as a tool for checking public policies and threats to sustainability caused by production variables, among others.

INTRODUCTION

As pointed out by BRUNDTLAND [1] in her already classical book, a commitment to sustainable development means integration of policies and development strategies so as to satisfy current and future human needs, improve the quality of life, and protect the environment upon which we depend for life support services.

As for minerals resources there is a still open discussion on the degree to which they fit in, since not renewable. Notwithstanding, mineral resources are an integral part of any developed and modern industrial society. Thus, how to achieve a sustainable future, without the services they provide!

Again, BRUNDTLAND brings the answer to this: they need not to be renewable, in the sense that the biological systems are, to be sustainable. Or, lets put as this, several renewable species just vanished away, for one or the other reason, while no one single non-renewable has done so!

However, societies need to be able to track progress toward their sustainability goals, via some sort of indicators. In this way, Agenda 21 laid out actions to forward the goal of

¹ Engenheiro Metalúrgico, Ph.D. Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail:cpeiter@cetem.gov.br

sustainability including a call for the development of indicators of sustainable development that could provide a basis for stages of the policy cycle, including decision making at all levels.

Indicators and indices package complex mineral information into understandable forms for stakeholders, decision makers and public use [2]. These mineral indicators must be useful as analytical, explanatory, communication, planning and performance assessment tools. Indicators help people understand the complexities associated with mineral resource management policy decisions, such as the interconnectedness of physical and environmental systems and the inevitability of making tradeoffs among conflicting management policy objectives [3]. Thus, the information contained in indicators can contribute to public understanding of the state of the world and the potential consequences of fulfilling various objectives, i.e., they can facilitate social learning [4].

Process democracy is one of the most important cornerstones of sustainability and so, as important as is the set of indicators, the process of creating, implementing and monitoring the set of indicators is crucial [idem]. There are many possible processes for defining indicators for various sectors on different scales; recommendations and even requirements for the group defining the indicator set are similar. The conditions are: (a) shared ownership of process, (b) fair decision-making processes, (c) transparency and accountability, (d) adequate participation and representation, (e) a mechanism for future revision, (f) clear grievance procedure, (g) clear structure, and (h) audit ability [5].

Initiatives within the Canada, the European Union, Latin America, the United Kingdom, and the United States, among others, have made substantial progress in creating sets of meaningful sustainable development indicators for. Each process has been unique with regard to its background, methods, and goals, and the indicators for each reflect these differences. This is to be expected for several reasons. First, sustainability is a value-based concept [6]. Values are an expression of culture, history, experience, environment and geography, and necessarily differ across societies. People measure what they want to sustain; sustain those things they believe are important; and decide what is important based on their values. Second, sustainability is a working concept, a process that focuses attention on existing social-environmental-economic realities and geopolitical constraints that are inherently different across societies and geopolitical regions of the globe. Finally, practical issues of data availability and collection costs necessarily drive the selection of indicators.

BRAZILIAN POLICY TOWARDS ARTISANAL AND SMALL SCALE MINING CLUSTERS

In Brazil, as in all Latin America, artisan and small-scale mining–ASSM, are mostly oriented towards high value minerals, gems and metals. Industrial minerals are receiving an increasing attention, lately. Amongst the 2,367 total mines that hold legal tenures in Brazil 1,706 (72.8 %) are small-scale operations [7]. Policy makers nowadays are closely following the overall contribution of ASSM to the Brazilian mineral economy due to the positive effects they bring on income distribution amongst poor communities. On the other hand, the generated social and environmental impacts are of great concerns, not only to the policy makers and government officials but also to the general Brazilian society.

Although difficulties still prevail, a major shift is in process and first results can be detected in many places of the country. The background conditions that pushed the federal and some regional governments to establish a more adequate relationship with ASSM are:

- A strong commitment of the present Federal Government to poverty alleviation and job generation;
- Natural and mineral resources weight considerably for a positive external trade balance
- Micro and small enterprises are playing an increasing role in the economy of the country.
- New ASSM are activities, such as dimension and ornamental stones, are raising at high rates and spreading throughout the country

As a response to these facts a new industrial policy was set, by the Federal Government, in March 2004 which contains, definitions and tools to render possible strong support to small and medium enterprises, in general, specially those located on the defined production clusters. The classical Porter's definition of an industrial or production cluster [8] was slightly changed to render it more suitable to Brazilian SME's conditions.

For the mineral sector, the possibility to promote ASSM was quite positive since new funds were proposed and created. Also, with the help of government and/or NGOs many mining communities might, from now on, change their ways of organization and production to reach better technical, market and socio- environmental standards. Another important fact was the renaming of such mineral sites: before this new policy, almost all of them were named "*garimpos*", which bears an undesirable informality and even lack of law enforcement. Many of them are now recognized as "mineral-based local clusters".

Mineral-based local clusters (apls)²

Such mentioned new industrial policy, known as PITCE₃, determines the objectives and policy tools to enhance SME competitive conditions, especially for those located on predefined clusters sites. A governmental working group defines the sites where such clusters could be developed and/or enhanced. Four hundred sites were found suitable, where at least one of the working group agencies was developing some previous supporting activity.

There are clusters in almost all industrial sectors of the economy and many features such as size and number of enterprises or level of technological development can define them. Not only the Federal Government and its SME Support Agency, SEBRAE, are undertaking special programs, but many local state governments now have their own policies and activities for APL implementation.

Even before the new policy, the Brazilian Ministry of Mines and Energy has had a specific study on mineral clusters and selected 200 small-scale mining sites. Twenty-nine were considered as having good or very good conditions to improve their situations and raise their

² APL or *arranjos produtivos locais* are the economic clusters in the Brazilian policy definition (for details see www.redesist.ie.ufrj.br)

³ External trade, technology and industrial policy - PITCE

local communities' social and economical benefits. Figure 1 shows the location of some clusters included in the selected twenty-nine.

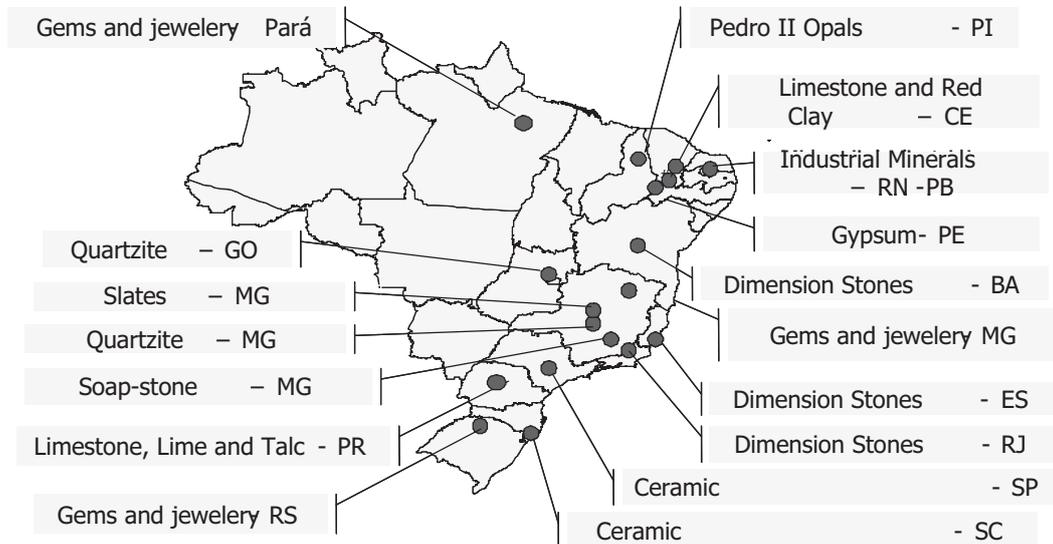


Figure 1: Some mineral clusters through the Brazilian territory

Technological support to mineral clusters

Previous analyses pointed out some of the clusters' weaknesses and many initiatives were then proposed and implemented to support most of the selected APLs, gathering contributions of high-level research and academic institutions throughout the country.

CETEM (Centre for Mineral Technology) was asked to lead three mineral APLs and to furnish technical support on other two; they are: the APLS of Natural Stone of Santo Antonio de Padua (State of Rio de Janeiro), the Limestone of Cariri (State of Ceará) and the Opal cluster at the State of Piauí, all three located on poor or very poor regions. The other two are the Soap-stone cluster at Minas Gerais and the Ornamental Travertine (Marble) Cluster of Ourolandia, State of Bahia. An important step now is to evaluate if the political, legal, financial and technological support is effectively changing (or not) the clusters sustainability levels. As a contribution to set a suitable and less complex sustainability diagnosis for clusters, the authors suggest a methodology based on stakeholder consultation and opinion gathering, synthesized on a qualitative cross impact matrix, so called "sustainability matrix".

The sustainability matrix for cluster diagnosis

As known, a bunch of sustainable indicators may be used on mathematical models to establish sustainability levels, but on the other hand it has to be taken into account that sustainable development is built over political commitments, on moral aspects and concepts as well, and some scientific knowledge, as stated by SHIELDS [3]. If we consider that representatives of the main stakeholders are conscious of their contributions to the cluster, have an adequate knowledge on how the cluster works and have the perception about what are positive contributions and negative impacts, it seems that an average opinion amongst them should provide some direction for action for many purposes, for instance to evaluate if government aid programmes and policies are contributing, or not, to improve sustainable development.

That means that a stakeholder consultation process may give a good diagnosis on the cluster sustainability situation. The sustainability matrix is a simple way to organize and present a qualitative diagnosis of mineral clusters regarding sustainable development⁴.

Figure 2 shows the proposed matrix framework. The purpose is to evaluate the contribution, or the level of impact, that production factors pose to sustainability aspects. On the first row the sustainability elements are placed split on the social, economical and environmental aspects. On the first column a set of selected production factors is placed and resumes the cluster organization and needs. For the present case study, the following were chosen:

- Raw material/ore: the main reason for a mineral cluster to exist
- Technology (production) model: it is the most widespread production processing path/flow sheet adopted by companies at the cluster
- Labour skill level: reflects the average level of education and/ or technical skills of working people in the cluster
- Entrepreneurial model: must reflect usual production/trade organization procedures at play
- Government intervention/aid: reflects the ways institutions and government agencies intervene in the cluster
- Finance institutions participation: encompasses all credit and loan organizations contributing to the cluster (banks, development agencies, etc).

The evaluation of each intersection cross between production factor (column) and sustainable development aspect (row) depends not only on the stakeholders' opinion, but as well on opinion balancing, made by a facilitator, what produces, as result, a consensus appraisal and an average grade that reflects those given understandings. The authors suggested a scale of five grades, that goes from high negative impact (grade minus 2 or - -) up to high positive contribution to the respective sustainability aspect (plus 2 or + +). The sum of the grades per row reflects each production factor contribution to the cluster sustainability, while the cells grades sum of each of the three columns represents the situation of the specific sustainable development aspect in the cluster. The authors suggest, to help an easier result overview regarding sustainable levels, that the overall sustainability grades that goes from -36 to +36, can be split into 6 classes of 12 grades each and one neutral: three negative (-36 to -25, -24 to -13, -12 to -1), the neutral (Zero) and three positive (+1 to +11, +12 to +23, +24 to +36).

Sustainability matrix on a mineral cluster: a case study

- Characteristics of the mineral cluster:
- Raw material: natural building stone (gneiss gris and yellow).
- Location and operational aspects: Santo Antonio de Pádua, 250 km N of Rio de Janeiro; at least 80 stone quarries and about 70 stone tiles production units (stone tiles cutting facilities) generating 4,000 jobs.

⁴ Internet search (Google) showed some useful applications of sustainability matrixes, but we did not find any focusing industrial clusters.

- Some historical data: since 1999, a persistent work is being carried out by a group of institutions⁵, involving the participation of the majority of the mineral producers and local community. Such joint and interdisciplinary initiative was a unique opportunity to test a multi-stakeholder approach to a mineral cluster formed by several small producers, most of them artisan and informal, operating without legal tenures and licenses ⁶. The Padua cluster diagnosis and the multi stakeholder approach were reported by PEITER (2000) and PEITER, VILLAS BOAS & SHINYA (1999).



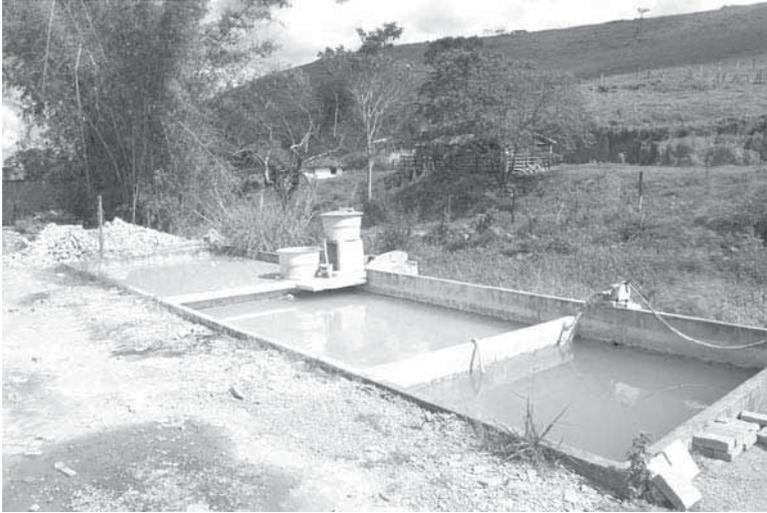
Picture 1: Typical quarry



Picture 2: Typical tile cutting shop

⁵ Many institutions have been collaborating at the Pádua cluster: the mineral producers union SINDIGNAISSSES, DRM, FEEMA and CODIN (which are local state government institutions), CETEM and INT(R&D federal institutions), FIRJAN, SEBRAE and SENAI (Industrial sector and job training institutions), and the Federal Public Attorney responsible for diligent application.

⁶ Many more aspects and features regarding the Padua natural stone cluster can be found at www.cetem.gov.br/retecmin.



Picture 3: Stone saw-cutting mud tailings recovery

Table 1 shows the matrix done for the year 2000 cluster situation.

Table 1: Sustainability matrix for the Pádua natural stone cluster, year 2000. (PEITER,2000)

Production factors	Sustainable aspects			Factor contribution
	Social	Economic	Environmental	
1. Raw material	(+) wide spread and available	(+) Unique material	(-) Excessive losses	1+
2. Technology (production) model	(++) Labour intensive	(-) Operation costs with low market prices stopped new developments	(- -) Promotes high environmental impacts	1-
3. Labour skill level	(-) Low skilled workers	(o) Workforce cannot improve quality of products	(o) Low skills also promote impacts	1-
4. Entrepreneurial model	(+) Better salaries in a jobless region	(--) Low trade management skills	(-) LOW ENVIRONMENTAL CONCERN	2-
5. Government intervention/aid	(-) Only seldom workers safety monitoring	(+) Support from the industrial agencies	(+) Provincial mineral and environmental agencies acting permanently	1+
6. Finance institutions participation	(o) Special labour funds exist but still do not support workers	(-) Loans almost inaccessible due to high interest rates and informality	(o) Technological support well kept by agencies	1-
Sustainability aspects and overall evaluation	2+	2-	3-	3-

The important conclusions were:

- The “entrepreneurial model” factor is considered to be the most negative to impact sustainability. The main reason is the selfish way quarry owners behave promoting price drop and fostering further increase on informal activity to avoid taxation.
- The “raw material availability” factor, on the other hand, has a positive effect, mainly due to the widespread and homogeneous type of stone (a sort of gneiss), which gave opportunity to several poor people to start its own quarry or to grant work in a jobless region.
- The “finance institutions” factor, amongst them commercial and development banks, as well industrial or job aid agencies, did not offer suitable conditions for small producers to apply even for small loans. One more reason to keep informality.
- The “evaluation of the sustainability aspect” (columns) grade summed up shows that the environmental aspect was the worse, specially due to the bad grades given on the technology model, which revealed the lack of knowledge on good practices in quarry exploitation, thus generating high losses of resources favoured by the need to lower operating costs.
- The “economic aspect” was also revealing a threat since stone price fell down more than 50 % due to the raise of stocks offerings made by extensive informal production and to the lack of actions in getting producers together to discuss ways to solve their common problem.
- The “social aspect”, in terms of jobs generation, was the one that showed the best evaluation and the main reason for the government institutions and agencies to keep trying to organize and help in many ways quarry owners and workers.

As an overall evaluation, taken from a scale for sustainability situation that goes from the worst grade (-9) to the very best (+9), the result obtained grade 3- (minus three) indicates a slight unsustainable situation. On the other hand, certainly the grade was not bad enough that might not be reversed.

How is the situation in 2007, after 6 years after? Many activities were performed during those years to support such a cluster and to address solutions against its main weaknesses. New economy policies emphasized the importance of clusters in the country’s economy and proposed special financial aid and technical support⁷.

Other stakeholders joined, not only to offer solutions but also to pose new challenges, such as the one by the Federal Public Attorney who asked the provincial agency to start immediately a protocol to set out a public commitment with mineral producers to improve environment features levels, otherwise their quarries should be shut down and the owners prosecuted under the Environmental Federal and Minerals Law and Code. As a reaction to this threat, the producers association and Union, known as SINDIGNAISSES, under the leadership of a new

⁷ The economical policy known as PITCE was set to foster not only high technology sectors, but also clusters as a new focal point to be supported due to the beneficial impacts they create locally and some nationally as well.

president, started negotiations to set adequate targets and better conditions to be followed by the small producers. In the meantime, support projects and negotiation initiatives started to help the producers to get to know what it should be done in every quarry and every stone cutting shop facility to follow the Public Attorney/ Union agreement.⁸

On the other hand, a recent provincial industrial development policy created lower taxation and other subsidies for companies to build their facilities in the Padua cluster region.

One important result came from one building materials company, devoted to prefabricated mortars, which is installing a factory that is going to recover one of the tailings produced by the cutting shops, mixing it to the mortar composition and almost eliminating totally this kind of polluting material. The use of very fine particulates that come out of the grinding of stone was developed by CETEM and INT and disseminated through most of the Padua's stone saw-splitting facilities, promoting 90% water recycling and a sharp decrease of solids release on brooks and small ponds used also by cattle farmers.

Other successful initiative was performed to improve trade and commercialisation skills to promote exports. A group of producers are now partners to meet exports scale contract needs that would not be feasible without a consortia formation.

To evaluate how those initiatives have interfered in the Padua natural stone cluster the new stakeholder consultation was conducted and twenty people, among technical staff from government agencies, clusters subject experts and the president of the mineral producers union, were asked to give their opinions. From them, six gave their complete views by fulfilling an individual matrix. From those, two of them participated in the first exercise and four have been deeply involved in technical projects and/or in political aspects regarding the cluster. Other two extra experts made comments on specific topics since they had not a broad view from the cluster.

The contributions were put together on a larger matrix framework in order to reflect the mean stakeholders opinion and translating it into a grade. The previous 2000 year matrix was very useful since made possible to compare specific features inside each sustainability aspect according to the related production factor.

Table 2 shows the "Year 2007" matrix together with the "Year 2000" results to provide easier comparison.

⁸ Professional teams from SENAI, a huge technical school institution, and from CETEM made individual quarries and cutting facilities diagnosis according to what was asked by the agreement

Table 2: Sustainability matrix for years 2000 (blank) and 2007 (shaded)

Production factors	Sustainable development aspects			Factor contribution
	Social	Economic	Environmental	
1. Raw material	(+) Wide spread and available	(+) Unique material	(-) Excessive losses	1+
	Many areas were legally required by few companies reducing availability for new small miners Negative change (o)	Unique material what still does not improves market prices No change (+)	Extensive diagnosis made for every quarry and saw facility disclosure the problems and show possible solutions for obtaining environmental licensing Positive change (o)	1+
2. Technology (production) model	(++) Labour intensive	(-) Operation costs with low market prices stoped new developments	(- -) Promotes high environmental impacts	1-
	Still labour intensive Unchanged (++)	Introduction of few new technologies did not changed profitability yet. Slight positive change (o)	Environmental performance is improving through negotiations and enforcement for obtaining operational licenses. Tailings new technology recycling caused a positive impact Positive change (-)	1+
3. Labor skill level	(-) Low skilled workers	(o) Workforce cannot improve quality of products	(o) Low skills also promote impacts	1-
	Workers stays low skilled but a the Quarry Training School will operate soon. Positive change (o)	Stays unchanged (o)	Stays unchanged (o)	(o)

Table 2: Continued

	(+)	(- -)	(-)	2-
4. Entrepreneurial model	Better salaries in a jobless region	Low trade management skills	LOW ENVIRONMENTAL CONCERN	
	Some advances were made through management training while salaries are almost unchanged (+)	Management training and the formation of an export consortium brought positive results. Slight positive change (-)	Much more environmental concern due to the requirements of the Environmental Performance Agreement signed. Slight positive change (o)	(o)
5. Government intervention/aid	(-) Only seldom workers safety monitoring	(+) Support from the industrial agencies	(+) Provincial mineral and environmental agencies acting permanently	1+
	Government support succeeding on keeping jobs. Health/safety will improved because are included in the Environmental Performance Agreement (o)	Government developing agencies are providing special conditions and subsidies to SMEs to operate in the region (++)	Federal Attorney, the Environmental and Mineral Agencies implemented diligent work. (++)	4+
6. Finance institutions support	(o) Special labour funds exist but still do not support workers	(-) Loans almost inaccessible due to high interest rates and informality	(o) Technological support well kept by some of the gov. agencies	1-
	New investments are creating jobs. Slight positive change (+)	Special loan conditions are being offered to SME. Slight positive change (o)	Special loans can only be taken by SMEs that have signed the Environment Agreement Slight positive change (+)	2+
Sustainability aspects and overall evaluations	2+	2-	3-	3-
	4+	2+	2+	8+

Comments on the "year 2007" matrix results

The previous list of improvements and/or supporting activities were well reported by stakeholder's contributions and carefully transferred to 2007-year matrix. The overall "sustainability value" increase indicates a significant positive shift in the cluster sustainability situation.

The matrix reveals that almost all factors underwent positive changes, while only factor 1 kept unchanged. The main push clearly came from the government/private institutions intervention and cluster supporting projects. Despite the minor influence, "finance support" and "entrepreneurial model" factors are closely connected and are expected to be the factors that will soon improve the sustainability indicators in the cluster, due to present day initiatives undertaken by development agencies and the Union of the producers.

The "Year 2000" overall result shows 3- grade meaning that the cluster was at a "slight unsustainable level". The "Year 2007" result (8+) revealed a positive trend in cluster development towards sustainability, despite still requiring several steps before reaching a truly sustainable situation. Three sustainability aspects showed positive trends but the environmental was the one that undertook more improvements in the stakeholders' opinion. On the other hand, the social aspect kept the main contribution (4+) to the overall sustainability result showing that jobs in the mineral sector still are the better alternative for wealth distribution.

The "economic aspect" has to be seen in a broader way, since the natural stone production is connected to housing, buildings and infrastructure sectors on which recent Brazilian growth rates were very low, what reflected on the low stone selling prices in the domestic market. Exports are another alternative to trade but still very modest if compared to other similar clusters, such as the slate one in Minas Gerais state⁹.

CONCLUSION

The sustainability matrix is a heuristic model that provides a good appraisal on a cluster situation regarding sustainable development concepts.

Although it works very well for an individual cluster analysis, it may not be useful for a comparison among several clusters. The consultation procedure would be weakened by the fact that it relies on individuals or groups of people "expertise", which may vary from cluster to cluster.

The result obtained in this paper will help to bring more focus to those production factors that need more attention in order to produce a better balance of their contribution and aiming to enhance local sustainable development.

⁹ Brazilian slate cluster exported 84 million dollars in 2006, from a total stone products trade of 1 billion.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are in great debt with the following experts and colleagues, who kindly sent opinions and suggestions to the stake holder consultation: Oscar Hue, Gilberto Calaes, Flávio Erthal, João Batista F. Lopes "Patinho", Rosana Coppede and Luis A. Barros.

REFERENCES

1. Brundtland, G.H.- Our Common Future - WECD, Oxford Press,1987 .
2. R.C.Villas Bôas and C. Beinhoff. Indicators of sustainability for the mineral extraction industry. CYTED/CETEM,Rio de Janeiro,2002.
3. D.J. Shields. USA and UN perspectives on indicators of sustainability for the mineral extraction industry. In: A review on indicators os sustainability for the mineral extraction industries. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq/IMPC. p. 19-30,2005
4. D.J. Shields and V. Solar. Sustainable mineral resource management and indicators: a case study. Idem .p. 63-72
5. Scrase,H and Lindhe, A. - Developing Forest Stewardship Standards: A Survival Guide. Taiga, 2001.
6. Shields,D.J.,Solar,S.V. and Martin,W.E. - The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. *Ecological Indicators*, 2:149-160,2002
7. DNPM. Anuário Mineral Brasileiro 2006. www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/I_2006.pdf
8. M. E. Porter, 2000. Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. *Economic Development Quarterly*, Vol. 14, No. 1, 15-34.
9. C.C. Peiter, 2000. Abordagem participativa na gestão de recursos minerais. São Paulo: EPUSP. *Tese de Doutorado*. Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, Dep. de Engenharia de Minas. 175 p.
10. C.C Peiter, R.C. Villas Boas & W. Shinya, 1999. Implementing a consensus building methodology to address impacts associated with small mining and quarry operation. In: *Mining and Environment II*. Sudbury: Laurentian University, 1999. v. 3, p. 981-990.



REALIZAÇÃO



Ministério da
Ciência e Tecnologia



APOIO

Secretaria de Desenvolvimento
Tecnológico e Inovação

Ministério da
Ciência e Tecnologia



Secretaria de Geologia,
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia

