

# Anais

## XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste

## VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste

Fortaleza • Ceará • Brasil

11 a 15 de Novembro de 2009

Organização:

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Nuria Fernández Castro

A decorative graphic at the bottom of the page consists of several overlapping geometric shapes. There are two large triangles pointing towards each other, one on the left and one on the right, both filled with a light green and white speckled texture. Between them is a smaller yellow triangle pointing downwards. To the far left and right are smaller triangles with a reddish-brown, textured background. The entire graphic is outlined in blue. The word 'CETEM' is centered in the middle of the graphic.

**CETEM**

**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

JOSÉ EDIL BENEDITO  
Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

**CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

JOSÉ FARIAS DE OLIVEIRA  
Diretor do CETEM

SÍLVIA CRISTINA ALVES FRANÇA  
Coordenadora 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

CARLOS CESAR PEITER  
Coordenador de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

JOSÉ DA SILVA PESSANHA  
Coordenador de Administração

## **VII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**

Fortaleza - Ceará – Brasil  
11 a 15 de novembro de 2009

Organizadores:

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Nuria Fernández Castro

**XXIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE  
VII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**

**ORGANIZADORES**

Francisco Wilson Hollanda Vidal (CATE/CETEM/MCT)

Nuria Fernandez Castro (CACI-ES/CETEM/MCT)

**CAPA**

Vera Lúcia Espírito Santo (SEIN/CETEM/MCT)

**COMISSÃO TÉCNICA**

Adriano Caranassios (CACI-ES/CETEM/MCT) – *In memoriam*

Antonio Rodrigues de Campos (CACI-ES/CETEM/MCT)

Carlos Cesar Peiter (CATE/CETEM/MCT)

Francisco Wilson Hollanda Vidal (CATE/CETEM/MCT)

Joaquim Raul Ferreira Torquato (NUTEC/CE)

Joedy Patrícia Queiróz (CATE/CETEM/MCT)

José Araújo de Nogueira Neto (DEGEO/UFC)

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira (CACI-ES/CETEM/MCT)

Maria Angélica Batista Lima (CODECIR/PE)

Nuria Fernández Castro (CACI-ES/CETEM/MCT)

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro (CACI-ES/CETEM/MCT)

**ORGANIZAÇÃO DO EVENTO**

**SBG-NE/UFC**

José Antonio Beltrão Sabadia ● José de Araújo Nogueira Neto

Cynthia Romariz Duarte ● Marcos Antônio Leite do Nascimento

José Alberto Ribeiro

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

Material da Capa: Branco Ceará e Cariri

Centro de Tecnologia Mineral

VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (23.: Fortaleza: 2009)

Anais do XXIII Simpósio Geologia do Nordeste; VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste/Núria Fernandez Castro, Francisco Wilson Hollanda Vidal (Orgs). – Fortaleza: CETEM/MCT, 2009).

199 p.: il.

1. Rochas ornamentais. 2. Minerais industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Castro, Nuria Fernandez (Org.). III. Vidal, Francisco Wilson Hollanda (Org.)

**ISBN 978-85-61121-77-8**

**CDD 553**

# Sumário

---

<b>Apresentação</b>	<b>01</b>
<b>1 Área de deposição de estoques remanescentes do mármore bege Bahia – ADERBEGE</b> <i>Ana Cristina Franco Magalhães</i>	<b>03</b>
<b>2 Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental</b> <i>Antonio Rodrigues de Campos; Nuria Fernández Castro; Francisco W. Hollanda Vidal e Mônica Castoldi Borlini</i>	<b>09</b>
<b>3 APL's de rochas ornamentais: estudo de casos</b> <i>Francisco Wilson Hollanda Vidal, Michelle Pereira Babisk e Nuria Fernandez Castro</i>	<b>19</b>
<b>4 Promoção pelo MCT da inovação tecnológica em micro e pequenas empresas de mineração organizadas em arranjos produtivos locais (APL) de base mineral</b> <i>Elzivir Azevedo Guerra e Francisco Wilson Hollanda Vidal</i>	<b>31</b>
<b>5 Aplicabilidade do resíduo industrial de rochas ornamentais na indústria cerâmica</b> <i>Farah Diba da Silva; Felisbela Maria da Costa Oliveira e Júlio César de Souza</i>	<b>53</b>
<b>6 Normalização em rochas ornamentais: análise da situação brasileira atual x tendências internacionais</b> <i>Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá</i>	<b>63</b>
<b>7 Aplicação de resíduos oriundos do corte de mármore na matriz do polipropileno</b> <i>Larissa Ribeiro de Souza ; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro e Regina Coeli Casseres Carrisso</i>	<b>71</b>
<b>8 Estudo da influência mineralógica e dos componentes da argamassa na fixação de alguns “granitos”</b> <i>Lizandra Nogami; Antenor Braga Paraguassú; José Eduardo Rodrigues</i>	<b>83</b>
<b>9 Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros</b> <i>Michelle Pereira Babisk ; José Carlos da Rocha; Luís Henrique Leme Louro e Marcelo Henrique Prado da Silva</i>	<b>95</b>
<b>10 O APL calcário do Cariri no contexto do ordenamento do território</b> <i>Nuria Fernández Castro ; Edson Farias Mello e Francisco Wilson Hollanda Vidal</i>	<b>105</b>
<b>11 Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais na arquitetura, e seu uso em vias públicas</b> <b>Renato J. Ávila Paldés</b>	<b>127</b>

<b>12 Usos diferenciados de rochas na arquitetura</b>	
<i>Risale Neves Almeida ; Lucila Ester Prado Borges; Alexandre Braz, Camila Borba, Deborah Marinho, Fabíola Soares, Keity Xavier, Juliana Santa Cruz; Juliana Neves; Bruna Borba, Cícero Fernandes; Evelyn Rufino e Filipe Soares</i>	137
<b>13 Emissão de radônio em rochas ornamentais</b>	
<i>Yasmin Gavioli , Julio Correia, Adriano Caranassios, Roberto Ribeiro e Vicente Melo</i>	149
<b>Resumos da Sessão Poster</b>	157
<b>Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos</b>	
<i>Carolina Oliveira; Roberto Carlos Ribeiro e Joedy Queiroz</i>	159
<b>Aplicação do índice de atratividade econômico-geológica (IAEG) para o granito do Complexo Alcalino Floresta Azul, sul do Estado da Bahia</b>	
<i>Ana Carla Monteiro Salinas; Débora Correia Rios; Herbet Conceição; Maria de Lourdes da Silva Rosa</i>	160
<b>Avaliação da resistência à compressão uniaxial de rochas ornamentais utilizadas como materiais de revestimento</b>	
<i>Elton Souza dos Santos, Joedy Patrícia Cruz de Queiroz</i>	161
<b>Proposta de utilização de classificação geomecânica no planejamento de lavra de rochas ornamentais</b>	
<i>Jefferson Luiz Camargo e Leonardo Luiz Lyrio da Silveira</i>	162
<b>Avaliação das medidas de reaproveitamento de resíduos de rocha nas marmorarias da região metropolitana de Salvador (RMS) – uma visão preliminar</b>	
<i>Cláudio Sérgio Oliveira de Rosato; Débora Correia Rios; Herbet Conceição</i>	163
<b>Avaliação de recursos minerais de rochas ornamentais: estudo de caso do quartzito verde de Lajes – RN</b>	
<i>Ely Brasil de Arruda Luna Cavalcanti; Júlio César de Souza e Eldemar de Albuquerque Menor</i>	164
<b>Avaliação do efeito do ácido úrico e uréia na alterabilidade de rochas ornamentais</b>	
<i>Vanessa Machado Daniel ; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro; Nuria Fernández Castro; Joedy Patrícia Cruz Queiroz</i>	165
<b>Caracterização da deterioração do mármore componente das banheiras históricas situadas no Parque Nacional da Tijuca</b>	
<i>Beatriz Martins Morani; Roberto Carlos C. Ribeiro e Joedy Patrícia Queiróz</i>	166
<b>Caracterização tecnológica de um corpo gabrótico para utilização de rocha ornamental</b>	
<i>Francisco Diones Oliveira Silva; José de Araújo Nogueira Neto; Bruno Lima Gomes; Igor Gothardo Nóbrega Ferreira</i>	167
<b>Caracterização tecnológica dos mármoreos do complexo Pio IX, município de Pio IX, PI</b>	
<i>Emanuel Baracho Lopes ; Débora Pinho Cavalcante; Irla Gonçalves Barbosa; José de Araújo Nogueira Neto; Ariston Araújo Cajaty; Sheldon Sarmiento de Menezes</i>	168

<b>Utilização de modelagem molecular como ferramenta para avaliação da interação entre resinas e rochas ornamentais no processo de resinagem</b> <i>Karen Gonçalves Rachele ; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro; Julio Cesar Guedes Correia</i>	169
<b>Estudo comparativo de reserva mineral na pedreira de granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE com utilização de recursos da simulação virtual</b> <i>Oderdan José de Santana ; Júlio César de Souza; Vanildo Almeida Mendes</i>	170
<b>Estudos preliminares da utilização de resíduos oriundos do beneficiamento da pedra sabão em pavimentação asfáltica</b> <i>Marceli do Nascimento da Conceição ; Roberto Carlos da C. Ribeiro; Julio C. Guedes Correia</i>	171
<b>Evidências petrográficas do intemperismo em rochas ornamentais na região litorânea do Recife – PE</b> <i>Suely Andrade da Silva ; Felisbela Maria da C. Oliveira; Eldemar de Albuquerque Menor; Júlio Cesar Desouza</i>	172
<b>Granitos exóticos – a nova tendência no mercado de rochas ornamentais do estado do Ceará</b> <i>Saulo de Almeida Gomes ; Fernando Antônio da Costa Roberto; Francisco Heury Fernandes da Silva</i>	173
<b>Mapeamento geológico de uma porção da área situada entre os municípios Aiuaba/Campos Sales – CE e Pio IX/Fronteiras – PI e caracterização tecnológica de gnaisses situados a sudeste do Município de Pio IX</b> <i>Débora Pinho Cavalcante; Irla Gonçalves Barbosa; Emanuel Baracho Lopes; José de Araújo Nogueira Neto; Ariston Araújo Cajaty; Sheldon Sarmiento de Menezes</i>	174
<b>Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais</b> <i>Ramires Machado; Roberto Carlos Ribeiro; Felipe Vaz Andrade e Renato Passos</i>	175
<b>Principais problemas patológicos relacionados com pisos e fachadas de Fortaleza</b> <i>Joaquim Raul Ferreira Torquato ; Maria de Fátima Bessa Torquato; José de Araujo Nogueira Neto e Francisco Heury Fernandes da Silva</i>	176
<b>Estudo para o aproveitamento de rejeito de quartzito da região do Seridó no estado da Paraíba</b> <i>Francisco Wilson Hollanda Vidal; Marcelo Corrêa de Andrade; Joao Bosco Marinho da Costa</i>	177
<b>APL calcário Cariri e Geopark Araripe</b> <i>Francisco Wilson Hollanda Vidal; João Aquino Limaverde</i>	178
<b>Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais para confecção de blocos paisagísticos</b> <i>Leonardo Cattabriga Freire; Joedy Patrícia Cruz Queiroz</i>	179
<b>Utilização do rejeito do granito rain forest no processamento de revestimentos cerâmicos</b> <i>Daniel Henrique Pires Cabral; Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira; José Marcos Sasaki; Francisco Heury Fernandes da Silva</i>	180

<b>APLs de rochas ornamentais: estudo de casos</b> <i>Francisco Wilson Hollanda Vidal , Carlos César Peiter e Nuria Fernández Castro</i>	181
<b>Recuperação dos resíduos oriundos do corte de mármore para uso como carga e recobrimento de papel</b> <i>Beatriz Martins Morani ; Roberto Carlos C. Ribeiro e Adriano Caranassios</i>	182
<b>Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na fabricação de tintas imobiliárias</b> <i>Ryara Ghiotto ; Roberto Carlos Ribeiro e Joedy Patrícia Queiróz</i>	183
<b>Mapeamento das rochas ornamentais da fachada do teatro municipal do Rio de Janeiro</b> <i>Joedy Patrícia Queiroz; Roberto Carlos Ribeiro e Beatriz Morani</i>	184
<b>Análise e monitoramento de riscos nas etapas de beneficiamento de rochas ornamentais</b> <i>Francineli Rodrigues Paiva; Kênia Cristina da Cruz e Leonardo Luiz Lyrio da Silveira</i>	185
<b>Caracterização tecnológica de ardósias para telhas segundo normas européias – exemplo das ardósias cinza de Papagaios, MG</b> <i>Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá; Fabiano Cabañas Navarro e Eduardo Brandau Quitete</i>	186
<b>Arranjo produtivo local de pedra-sabão na região de Ouro Preto – MG</b> <i>Rita de Cássia Pedrosa Santos , Evandro Carrusca e João Maurício de Andrade Goulart</i>	187
<b>Aproveitamento de resíduos produzidos no corte de rochas ornamentais na indústria de construção civil</b> <i>I. F. Pontes, F. W. H.Vidal, R.C.M.Castelões e S.L.M.Almeida</i>	188
<b>As geotecnologias na pesquisa de rochas ornamentais</b> <i>Roberto Mota ; Ariston Araújo Cajaty e Antonio Harildes Oliveira Martins</i>	189
<b>Aproveitamento de resíduo da serragem de rocha de Cachoeiro de Itapemirim - ES em massa de cerâmica vermelha</b> <i>Carlos Maurício Fontes Vieira , Mônica Castoldi Borlini; Abiliane de Andrade Pazeto; José Roberto de Oliveira e Sergio Neves Monteiro</i>	190
<b>Revestimento cerâmico obtido com a incorporação de resíduo de rocha ornamental em massa argilosa</b> <i>Mônica Castoldi Borlini; Abiliane de Andrade Pazeto; José Roberto de Oliveira; Carlos Maurício Fontes Vieira e Sergio Neves Monteiro</i>	191
<b>Resíduo de serragem de granito sem granalha: caracterização</b> <i>Izabel Sandrini ; Mariane Costalonga de Aguiar; José Roberto de Oliveira; Antônio Rodrigues de Campos; Abiliane de Andrade Pazeto e Mônica Castoldi Borlini</i>	192



## Apresentação

---

Na realização do VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste - VII SRONE completamos um ciclo de 7 encontros, em um período de 11 anos, deste evento técnico-científico do setor de rochas ornamentais, o mais tradicional das áreas correlatas ao segmento de mármore, granitos e rochas afins.

Neste momento, em que o CETEM completa 15 anos de ações para o setor produtivo de rochas ornamentais brasileiro, culminando na consolidação da primeira unidade regional do centro, o Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim (ES), na principal região produtora e exportadora de rochas ornamentais do país é com grande satisfação que apresentamos os anais desta 7ª edição do SRONE.

O presente volume registra as contribuições técnicas apresentadas no VII SRONE, distribuídas em conferências e sessões técnicas de palestras e pôsteres. Nossa expectativa de participação foi amplamente ultrapassada considerando o curto prazo que tivemos para organizar o evento. Recebemos cerca de 52 resumos para apresentação, dos quais foram selecionados para publicação 13 artigos técnicos e 34 resumos que compõem os Anais.

Gostaríamos de registrar nossos agradecimentos à Sociedade Brasileira de Geologia – SBG, à Universidade Federal do Ceará – UFC, à Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia e ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, também desse Ministério, pela realização dos eventos XII SGN e VII SRONE, assim como às demais instituições governamentais e privadas que viabilizaram a realização dos mesmos.

Novamente podemos observar uma evolução dos trabalhos, focados, principalmente, no desenvolvimento sustentável que é a principal tendência do setor, bem nas áreas de pesquisa mineral e lavra como nas de beneficiamento e acabamento em serviços de marmoraria.

Enfim, aproveitamos também a oportunidade para agradecer e parabenizar a Comissão Organizadora pelo sucesso alcançado, bem como todos os autores que contribuíram com seus trabalhos deste VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, realizado concomitantemente com o XXIII Simpósio de geologia do Nordeste – XXII SGN.

Rio de Janeiro, novembro de 2010

Francisco Wilson Hollanda Vidal  
Coordenador Nacional do VII SRONE

# Área de deposição de estoques remanescentes do mármore bege Bahia – ADERBEGE

Ana Cristina Franco Magalhães<sup>1</sup>

## RESUMO

*A atividade de lavra, desdobramento e beneficiamento final do mármore Bege Bahia, no município de Ouroilândia, desenvolveu-se de forma desordenada e sem nenhum controle ambiental, gerando um grande volume de rejeitos.*

*Mitigar os efeitos dos impactos ambientais gerados e a necessidade de dar uma destinação econômica aos rejeitos gerados pelas atividades da cadeia produtiva foi determinante para a elaboração do “Projeto ADERBEGE”. O projeto do Governo da Bahia tem por objetivo criar uma área de deposição comum para os estoques remanescentes do mármore, dando a estes uma destinação econômica, gerando ocupação e renda, ao tempo em que atenua os impactos ambientais gerados ao longo dos últimos cinquenta anos.*

## INTRODUÇÃO

A rocha comercialmente conhecida como mármore Bege Bahia, tem sua atividade de lavra, desdobramento e parte de seu beneficiamento, concentrado no município de Ouroilândia, também com reservas conhecidas nos municípios de Juazeiro, Itaguaçu da Bahia, Campo Formoso e Mirangaba.

Sua exploração, iniciada no final dos anos 50 no município de Juazeiro, tem apresentado uma produção sempre crescente e hoje Ouroilândia responde por mais de 90% desta produção.

O mármore Bege Bahia é em verdade uma variedade do calcete, ou travertino da Formação Caatinga, que provem da alteração de calcários da Formação Salitre (Geoexplore, 2002; Penha, 1994). Embora não tenha sido medido, seu potencial aparente é de grandes dimensões, haja vista que o calcário da Formação Caatinga estende-se por cerca de duzentos quilômetros ao longo do vale do rio Salitre (CBPM - Série Arquivos Abertos 2002). A Geoexplore, em estudo realizado no ano de 2002, estimou uma área potencial em torno de 1.500 quilômetros quadrados para a sua prospecção e exploração como rocha ornamental, com uma espessura variável entre dez e trinta metros (Penha 1994).

Ainda segundo a Geoexplore, 2002, a abundante ocorrência do mármore Bege Bahia em Ouroilândia pode ser prospectada em cerca de cinquenta quilômetros quadrados. Levantamento realizado pela SICM/Comin, junto ao DNPM em 2009 registra 54 títulos minerários no município de Ouroilândia.

A cadeia produtiva do Bege Bahia no município possui 32 empresas, das quais 14 concentram-se na atividade de lavra, sete atuam na atividade de desdobramento (serrarias) e 11 que executam serviços de polimento e de beneficiamento final, que são serviços inerentes à atividade de marmorarias.

---

<sup>1</sup> Secretaria da Indústria Comércio e Mineração do Estado da Bahia – Coordenação de Mineração - ana@sicm.ba.gov.br

A extração deste mármore é feita a céu aberto e o método de lavra mais utilizado é corte em bancadas e/ou pranchas, usando-se o fio diamantado, helicoidal, ou mesmo o desmonte manual. Já o desdobramento é feito nas serrarias com teares diamantados. A atividade de polimento é realizada com tecnologias diversas, através de equipamento manual, semi-automático e automático. As unidades de marmorarias utilizam pequenos equipamentos para produção de ladrilhos, tampos de mesa, de pias e produtos diversos. É importante salientar que, algumas empresas atuam em todos os segmentos da cadeia, realizando todas as atividades, à exceção da lavra, em uma única unidade industrial.

O município de Ouroilândia tem na cadeia produtiva do mármore Bege Bahia sua principal atividade econômica. Praticamente toda a economia do município gira hoje em torno da exploração, desdobramento e beneficiamento dessa rocha, que é responsável pela geração de cerca de 1.500 empregos diretos e indiretos no município, além de ser responsável por mais de 60% do PIB municipal, indicador este que teve um crescimento de 84% nos últimos 4 anos.

As condições geológicas favoráveis para a abertura de frentes de lavra, inclusive manual, a baixa recuperação na lavra, a larga aceitação do material no mercado nacional, além da falta de uma legislação ambiental pertinente, desde o início da sua exploração, fizeram com que a extração do Bege Bahia se desenvolvesse, em mais de quatro décadas, de forma desordenada, de caráter predatório e sem qualquer tipo de cuidado com o meio ambiente, gerando um grande volume de rejeitos.



Foto 1 - Rejeitos espalhados na lavra



Foto 2 - pilhas de rejeitos na lavra

Também não foi diferente a situação nos demais níveis da cadeia produtiva, que desde o início dos anos 2000 iniciaram suas atividades de desdobramento, passando a agregar valor ao produto, bem como as demais atividades da cadeia que pouco a pouco foram sendo instaladas e desde então estão cada vez mais consolidadas. Entretanto, pouco ou quase nada, tem sido feito no sentido de ordenar e regular a deposição ou mesmo o aproveitamento dos resíduos gerados.

No início dos anos 2000 algumas precauções começaram a ser tomadas, por força do imperioso paradigma do desenvolvimento sustentável. Diversos trabalhos e estudos foram realizados pelo governo do estado, contando com a parceria de algumas universidades, SEBRAE, SENAI entre outros, que apontaram gargalos, entraves e soluções para o problema, entretanto pouco foi implementado no município.

Em 2007, uma ação conjunta do Instituto do Meio Ambiente da Bahia - IMA e Ministério Público - MP detectaram a necessidade de soluções para os problemas acumulados ao longo dos anos de produção do mármore Bege Bahia, sob pena da paralisação total dos empreendimentos ali instalados.



Foto 3 - Finos gerados na serragem de blocos



Foto 4 - Pilha de rejeitos de marmorarias

Resolvidas as questões mais urgentes, inclusive com o fechamento de pedreiras localizadas à margem do Rio Salitre, desde então vêm sendo discutidas com o IMA as medidas que devem ser adotadas para solucionar os problemas ambientais gerados ao longo dos anos, bem como as ações para a regularização da atividade, mitigação da situação dos rejeitos gerados, recuperação de áreas degradadas, além da preservação, valorização e socialização dos sítios ou ocorrências arqueológicas e grutas ali encontrados. Todos os estudos e ações têm sido realizados, via de regra, de forma conjunta pela Associação dos Empreendedores do Mármore Bege Bahia - ASSOBEGE, com a parceria do Governo do Estado da Bahia, através da Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração - SICM, com o apoio da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM, assim como da Secretaria de Ciências Tecnologia e Inovação - SECTI, além do SEBRAE.



Foto 5 - Pedreira à margem do rio Salitre



Foto 6 - gruta "Toca dos Ossos"

Levantamento preliminar realizado pela SICM (Comin - Dourado 2008) estima uma massa acumulada de resíduos de mais de dois milhões de metros cúbicos, isto apenas para os resíduos acumulados nas áreas de mineração, sem ainda haver um levantamento da indústria e beneficiamento, que já começa a mostrar impactos visuais desagradáveis, com a deposição de resíduos às margens das vias e estradas onde estão localizadas.

Em busca de uma solução definitiva e ciente da necessidade de aproveitamento dos rejeitos gerados pela lavra predatória, executada ao longo dos anos, bem como daqueles que vêm sendo produzidos pelas atividades de desdobramento e beneficiamento, o Governo do Estado da Bahia, através da SICM e SECTI, resolveu elaborar um projeto de implantação de uma Área de Deposição de Estoques Remanescentes do Bege Bahia em Ourolândia - ADERBEGE.

## **A ADERBEGE**

A ADERBEGE tem o objetivo de mitigar o problema ambiental do município, dando uma destinação econômica aos rejeitos gerados e criando a possibilidade de emprego e renda para pequenas associações locais.

O projeto realizado em parceria com todas as empresas do segmento, localizadas em OuroLândia, e consiste na implantação de uma área destinada ao depósito dos rejeitos produzidos nas áreas de extração, desdobramento, beneficiamento, polimento e marmorarias, com espaços específicos para a deposição de cada tipo de material, previamente triado e qualificado para um determinado aproveitamento econômico.

No âmbito da ADERBEGE tudo o que até então era tratado como rejeito, resíduo ou passivo da atividade mineral, desdobramento e beneficiamento, passa a ser qualificado como estoques remanescentes, dado a sua aptidão para o aproveitamento na confecção de produtos.

O estoque de material da ADERBEGE, no primeiro momento, será constituído de todo remanescente existente nas empresas, os quais serão previamente quantificados, qualificados e triados por cada empreendimento, em conformidade com o compromisso assumido com o órgão ambiental, durante a fase de licenciamento definitivo da cada unidade em atividade.

A elaboração dos produtos da ADERBEGE estará a cargo de associações locais previamente selecionadas, treinadas e habilitadas a desenvolverem estes trabalhos.

As receitas oriundas da comercialização dos produtos elaborados na ADERBEGE serão destinadas à manutenção da ADERBEGE e às associações de trabalhadores.

A área prevista para a implantação terá duzentos hectares, subdivididos em espaços para receber: blocos, casqueiros, cacos e costaneiras de blocos serrados, lama oriunda das serrarias e marmorarias, sucatas, óleos, lâminas, pneus e outros produtos

O espaço para depósito dos blocos passíveis de aproveitamento será subdividido em área para blocos de aproveitamento imediato e área para aproveitamento futuro, pedaços de blocos e matrucos (pedaços de blocos refugados ou na forma de material particulado de média granulometria) reduzíveis a bloquetes para aproveitamento em talha blocos, com espaço para a atividade de confecção de bloquetes;

O local para a colocação de casqueiros, escombros e pedra marruada terá pátio específico para a redução do material em pedra para calçamento (pedra portuguesa), confecção de paralelos, cubetes e guias;

Os cacos e costaneiras de blocos, oriundos das serrarias, unidades de polimento e marmorarias serão colocadas em local reservada para a confecção de anticatos, spacatos e outros produtos;

A ADERBEGE abrigará ainda, além das instalações para escritório, espaço para um britador que confeccionará brita e pó de pedra, com os resíduos oriundos das unidades produtivas, bem como daqueles gerados nos diversos aproveitamentos aí realizados, além de um galpão para produção de ladrilhos com talha-blocos, confecção de mosaico e artesanato mineral.

A primeira ação da ADERBEGE será o recebimento do material já existente nas empresas, as quais cuidarão de fazer previamente a devida qualificação dos seus estoques remanescentes para depósito na suas respectivas áreas.

A partir da entrada em operação da ADERBEGE, em consonância com os compromissos assumidos com o IMA e o MP, cada empresa deverá fazer bi mensalmente a triagem dos seus materiais e entregá-los à ADERBEGE.

Considera-se ainda, após estudos complementares e detalhados, a possibilidade da implantação de uma planta flexível, sugerida no relatório final do Projeto DETIMBA (Desenvolvimento Tecnológico Integrado do Mármore Bege Bahia – DETIMBA, realizado pela FAPESB – Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão, fundação ligada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação e execução a cargo das escolas Politécnica e de Geologia da Universidade Federal da Bahia – 2007), que aponta a implantação de uma “planta flexível integralizada capaz de transformar os rejeitos em produtos e que os produtos de uma unidade sejam os insumos de uma outra unidade, de maneira a integralizar os fluxos de matéria prima de acordo com a demanda de mercado ” (DETIMBA – 2007). Nessa planta seriam produzidos: brita e areia de brita, argamassa (para uso na construção), tijolo (ecológico ou BTC) e artefato de concreto (peças de concreto simples).

Alguns estudos realizados pelo projeto DETIMBA, com amostras coletadas in loco, comprovaram a possibilidade de britagem da rocha para uso na construção civil, além da utilização do material para desenvolver (com uso de aditivos) uma argamassa para uso menos nobre, destinada especialmente às populações de baixa renda da região, considerando-se ainda a possibilidade da produção de tijolos e artefatos de concreto, também para atender a mesma classe social.

Tais estudos estão, no momento, sendo complementados pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, com o objetivo de indicar a melhor destinação para os estoques remanescentes do mármore Bege Bahia, bem como para os finos gerados nas empresas de desdobramento. Os primeiros resultados apontam o uso dos finos das serrarias na indústria cimenteira ou de polímeros.

Para os finos gerados após a secagem da lama, oriunda da serragem dos blocos, uma primeira aplicação seria atender a entrega regular do material para utilização como aglomerante nas indústrias cerâmicas da região, bem como filler para a produção de tinta.

Com a finalidade de atenuar os impactos visuais gerados, a preservação da fauna e flora locais, toda a área da ADERBEGE será circundada por uma cortina de vegetação, utilizando-se especialmente as espécies mais resistentes típicas da região, a exemplo da quixabeira, mulungu, jatobá, pinhão bravo e espécies que se adaptam bem ao clima e solo da região como a algaroba.

## **IMPLANTAÇÃO DA ADERBEGE**

Para a implantação do projeto ADERBEGE, serão adotadas algumas das propostas contidas no relatório final do Projeto Estruturante do Plano de Melhoria da Competitividade do Arranjo Produtivo Legal de Ourolândia (o Plano de Melhoria de Competitividade - PMC foi executado pelo Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia – Markestrat, no âmbito do Programa de Fortalecimento da Base Empresarial -PROGREDIR. O PROGREDIR é um projeto que visa fortalecer a atividade empresarial dos diversos APLs do estado da Bahia), que sugere a contratação de consultoria especializada para definir as ações de gestão, localização, capacitação, marketing e desenvolvimento de mercado.

A consultoria deverá apontar a melhor forma de gestão da ADERBEGE, que a princípio poderá estar, por conveniência do Estado e demais agentes, sob a responsabilidade do Instituto de Desenvolvimento Tecnológico, Industrial, Comercial e Ambiental do Mármore Bege Bahia - IDEM/BA, pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos. Deverá ainda indicar a melhor forma de estruturação, remuneração dos agentes, controle dos estoques remanescentes, insumos e produtos finais e os mecanismos de distribuição dos custos e lucros.

Quanto à localização, a consultoria deverá sugerir o local mais adequado para a instalação da ADERBEGE, levando-se em contas os fatores ambientais, sociais e econômicos.

Para a área de capacitação devem ser propostos cursos e capacitação em noções de associativismo, técnicas administrativas, elaboração de produtos, planejamento estratégico de negócios e estratégias mercadológicas, entre outros que possam ser importantes para o bom funcionamento da ADERBEGE;

Já para o desenvolvimento de mercado, deve ser contatada uma consultoria especializada, que aponte ações para o fortalecimento dos mercados já existentes, bem como o desenvolvimento de novos mercados.

O plano de marketing será executado através da contratação de agência de comunicação. A agência deverá elaborar um plano para a promoção e venda dos bens produzidos, além de criar uma marca que enfatize o caráter sustentável da atividade, ressaltando a questão social e ambiental, e ainda criar uma web site, que divulgue o trabalho da ADERBEGE e promova seus produtos.

## CONCLUSÃO

Com a implantação deste projeto o governo do Estado pretende criar, desenvolver e apoiar um “empreendimento associativista, que se dedicará a uma atividade baseada na produção sustentável, em suas dimensões econômica, social e ambiental” (Markestrat 2009), mitigando os problemas ambientais gerados em mais de quarenta anos de produção, aliando a isto a geração de emprego e ocupação para o município e que trarão como resultado imediato, a geração e complementação de renda para a uma população extremamente carente e que vive numa das regiões mais áridas do estado da Bahia.

## BIBLIOGRAFIA

- PENHA, A.E.P.P. O Calcário Caatinga de Ouroilândia, Bahia: Feições diagnósticas, gênese e evolução de um perfil calcrete. 1994. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Bahia. Salvador, 1994.
- RIBEIRO, Adalberto de Figueiredo e outros. Mármore Bege Bahia em Ouroilândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento sustentável. – Salvador:CBPM, 2002.
- BRAZ, E.; MAGALHÃES, A.C.F. Plano estratégico para o desenvolvimento sustentado do mármore Bege Bahia na região de Ouroilândia, Jacobina e Mirangaba:avaliação econômica, direitos minerários e reservas oficiais Salvador:CBPM, 2002. 26p. Convênio SICM/COMIN /CBPM.
- GEOEXPLORE CONSULTORIA E SERVIÇOS LTDA. Investigação geológica e ambiental dos depósitos e áreas de ocorrência do mármore Bege Bahia, na região situada entre os municípios de Ouroilândia e Jacobina, a S e Campo Formoso, a N. Salvador: CBPM/COMIN, 2002. 135p.,il.,color
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA. Desenvolvimento Tecnológico Integrado do Mármore Bege Bahia – DETIMBA. Salvador: FAPESB, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, 2007. 148p.,il., color. Convênio FAPESP/FINEP.
- MAGALHÃES, Ana Cristina Franco. Aspectos técnicos e econômicos do mármore Bege Bahia. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 6., 2007, Natal.
- SECTI. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação. Programa Empresa Competitiva Bahia. Plano de Desenvolvimento do APL de Rochas Ornamentais da Bahia. Salvador, 2008.
- MARKESTRAT, Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia. Plano de Melhoria de Competitividade – PMC. Salvador: SEBRAE, 2009. 131p.

# Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental

*Antonio Rodrigues de Campos<sup>1</sup>; Nuria Fernández Castro<sup>1</sup>;  
Francisco W. Hollanda Vidal<sup>1</sup>; Mônica Castoldi Borlini<sup>1</sup>*

## RESUMO

*Os materiais rochosos constituem a matéria-prima mais antiga de que o homem pôde dispor para as suas necessidades. As rochas ornamentais e de revestimento, onde destacam-se as rochas carbonáticas (mármore) e as silicáticas (granitos), tiveram suas primeiras aplicações datadas mais ou menos 500 mil anos a.C. Desde então, a pedra, produto obtido de uma rocha, tem sido colaboradora inestimável da história dos povos, documentando as suas culturas e, considerando que cada civilização, em épocas distintas, usou e trabalhou a pedra, que ainda hoje retratam suas características arquitetônicas e urbanísticas. O aproveitamento dos resíduos produzidos na cadeia produtiva de rochas ornamentais tem que ser encarado com mais seriedade por parte dos empresários do setor, tendo em vista o grande volume de perdas de material, tanto na etapa da extração quanto na etapa do beneficiamento. Somando estas duas parcelas de perdas, chega-se a valores da ordem de 75%, em média, apresentando, portanto, uma recuperação baixíssima, que chega a ser de 15 a 20%, em alguns casos. Existem perdas que são inevitáveis, pois estão ligadas à natureza (qualidade) das rochas, in situ, mas mesmo estas, podem ser minimizadas, se houver um melhor conhecimento do jazimento, antes de iniciar a etapa de extração. Além dessas perdas de material, que acaba onerando os produtos finais, tem que ser levados em consideração os impactos ambientais causados nas regiões onde ocorre a extração e o beneficiamento das rochas ornamentais. Esses impactos ambientais são devidos, principalmente, às grandes quantidades de resíduos sólidos (grossos e finos) geradas no processo produtivo, sem esquecer do impacto ambiental visual, já que as cavas são vistas a grandes distâncias e são muito freqüentes, tendo em vista que a maioria das pedreiras é explorada a céu aberto, com é o caso do Brasil. Mesmo que a recuperação dos resíduos produzidos leve a um aumento dos custos de produção, estes têm que ser considerados no estudo de viabilidade econômica do projeto, levando em conta o conceito de desenvolvimento sustentável. Porém, se o projeto for elaborado, já levando em conta a recuperação dos resíduos produzidos, o retorno financeiro pode ser compensador economicamente, além de gerar emprego e renda, e de ficar bem com os órgãos ambientais e com as comunidades vizinhas ao empreendimento. O trabalho mostra que já existem muitas alternativas tecnológicas, não só para o tratamento desses resíduos, como também para o seu aproveitamento industrial, como nas indústrias da cerâmica, da construção civil, metalúrgica, química, na agricultura e no artesanato, dentre outros. Apesar da existência dessas alternativas de aproveitamento industrial, o problema ainda persiste, e o aproveitamento dos resíduos gerados ainda não foi totalmente resolvido e representa um grande problema ambiental na maioria das regiões onde ocorre a extração e o beneficiamento das rochas ornamentais.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) – Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa (CATE), e-mail: [acampos@cetem.gov.br](mailto:acampos@cetem.gov.br), [ncaastro@cetem.gov.br](mailto:ncaastro@cetem.gov.br), [fhollanda@cetem.gov.br](mailto:fhollanda@cetem.gov.br)



## INTRODUÇÃO

O CETEM vem, desde 1997, realizando programas de apoio às micro, pequenas e médias empresas, principalmente aquelas que atuam na extração e beneficiamento de rochas ornamentais, mediante a realização de apoio tecnológico aos mineradores, no sentido de aumentar a produtividade, contribuir na melhoria da qualidade dos produtos, nas condições de higiene e segurança do trabalho e na redução de perdas de material nas etapas da cadeia produtiva. Estas perdas de material são representadas pela grande quantidade de resíduos gerada, principalmente, nas etapas de extração e beneficiamento da rocha. A redução destas perdas tem sido estudada, e às vezes solucionadas, por meio da utilização de diferentes alternativas de aproveitamento industrial desses resíduos gerados. Essa diminuição de perdas tem sido realizada, também, por mudanças nas rotas tecnológicas do processo, com introduções de novas etapas de processo e utilização de equipamentos mais modernos, sempre buscando mais e melhor aproveitamento dos resíduos gerados e, conseqüentemente, um desenvolvimento mais sustentável, por parte dessas micro e pequenas empresas. Desses resíduos, os mais problemáticos, em termos ambientais, têm sido aqueles gerados nas serrarias (efluentes de serrarias), que são constituídos, basicamente, de finos (pó) das rochas que são serradas e água, podendo ter outros contaminantes como ferro, cal, e outros, principalmente quando a serragem é feita em teares convencionais. O efluente gerado nestes últimos é a chamada lama abrasiva, contendo alto teor de ferro, devido ao uso da granalha de ferro ou aço, usada na serragem dos blocos de granito.

Uma boa gestão de resíduos minerais é muito importante, principalmente em se tratando de rochas ornamentais, tendo em vista que a quantidade de resíduos gerados é muito grande em relação àquela produzida no processamento de outros bens minerais.

A lavra (extração) e o beneficiamento das rochas ornamentais (mármore, granito, quartzito, ardósia e outras) produzem, em todas as suas etapas do processo (lavra, beneficiamento e acabamento), uma quantidade expressiva de resíduos sólidos, com perdas de material que atingem a faixa de 65 a 75%, em média. Além de representarem perdas na produção, esta quantidade expressiva de resíduos vai afetar o meio ambiente e a produtividade.

Muitas vezes, principalmente em se tratando de micro e pequenas empresas, grande parte desses resíduos são largados nas próprias pedreiras, causando um grande impacto ambiental visual e estético, como mostra a figura 1.

Em muitos casos, este cenário de desperdício poderia ser evitado, além do mesmo representar grande perda de material e, por conseqüência, a diminuição da quantidade de produtos vendáveis (chapas, ladrilhos, lajinhas e outros tipos), ocasionando uma baixa recuperação, que fica, normalmente, na faixa dos 25 a 35%. No caso das rochas ornamentais, isto acontece, tanto nas grandes como nas pequenas empresas. Há casos em que os resíduos produzidos na fase do desmonte são estocados de forma inadequada, criando riscos de acidentes e prejudicando, inclusive, a seqüência dos trabalhos na própria frente de extração (rejeitos depositados em cima desta), como pode ser visto na Figura 2.

Uma das razões para esse grande volume de perdas na indústria extrativa de rochas ornamentais é que, nos últimos 20 anos, a indústria extrativa de mármore e granitos foi muito impulsionada pela crescente demanda de materiais para exportação, acontecendo, no final da década de 80, um verdadeiro "boom" do setor no Brasil, sendo denominada como a "nova idade da pedra". Nesse período, o desenvolvimento tecnológico não teve como acompanhar, de forma desejável, esse crescimento da demanda de exportação, com tecnologias adequadas e atualizadas, referentes aos métodos de extração, beneficiamento e de controle ambiental, dando, inclusive, um bom destino aos resíduos produzidos.



Foto:CETEM/MCT

Figura 1 – Rejeito deixado na própria pedreira.



Figura 2 – Disposição inadequada dos rejeitos da lavra

## OS RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS CLASSIFICAÇÕES

A Norma NBR 10004, revisada em 2004, define Resíduos Sólidos como sendo resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Estão incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados efluentes, contendo partículas finas e ultrafinas de rochas ou minerais.

A classificação dos resíduos gerados em uma atividade é o primeiro passo para estruturar um plano de gestão adequado para os mesmos. A partir da classificação, é que serão definidas as etapas de coleta de amostra, transporte, armazenagem, manipulação, tratamento e a destinação final, de acordo com cada tipo de resíduo gerado.

De acordo com a NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos são classificados quanto aos seus riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente e à saúde pública, em Classe I (perigosos) e Classe II (não-perigosos).

Os resíduos Classe I (Perigosos) são aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Os resíduos Classe II (Não Perigosos), por sua vez, são classificados em Classe II A (Não Inertes) e Classe II B (Inertes)

Os resíduos classe II A (Não Inertes) são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (Perigosos) ou de resíduos classe II B (Inertes); podem apresentar propriedades, como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Um exemplo de um resíduo Não Inerte é o lixo comum gerado em qualquer unidade industrial, do tipo restaurantes, escritórios, banheiros etc.

Os resíduos classe II B (Inertes) são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, de acordo com a ABNT NBR 10007 (2004), e submetidos ao teste de solubilidade, em água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos valores estabelecidos no Anexo G da NBR 10004.

## CONCEITO DE RESÍDUOS NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Os resíduos na cadeia produtiva de rochas ornamentais, são classificados, normalmente, por tamanho, em resíduos grossos, finos e ultrafinos. Os resíduos grossos são encontrados, praticamente, em toda a cadeia produtiva, ou seja: nas pedreiras, nas serrarias e nas marmorarias. Os resíduos finos e ultrafinos são encontrados, mais comumente, nas serrarias e marmorarias, formados por ocasião do corte da rocha e nas atividades de acabamento (polimento e outros).

Os resíduos grossos das pedreiras, normalmente são constituídos de blocos de tamanhos irregulares, blocos com defeitos, pedaços de blocos, casqueiro (material retirado dos blocos por ocasião do aparelhamento dos mesmos), lascas de rochas, entre outros. Os resíduos grossos das serrarias e marmorarias são constituídos, principalmente de aparas (material resultante do aparelhamento das placas), pedaços de peças e lascas de rochas.

Os resíduos finos e ultrafinos ocorrem também nas pedreiras, mas é um tipo de resíduo mais característico das serrarias e marmorarias. Nas serrarias, esses finos e ultrafinos são gerados na forma de efluentes, devido a junção com a água, usada para refrigeração nas operações de serragem, em serras de discos diamantados, teares e outros. Nas serrarias de teares convencionais, o efluente gerado é constituído, basicamente, de finos de rocha, água, cal e finos de granalha, formando a chamada lama abrasiva.

De todos os tipos de resíduos, os que provocam maior impacto ao meio ambiente são os efluentes das serrarias que usam teares convencionais, que geram a lama abrasiva, bem conhecida em Cachoeiro de Itapemirim e Nova Venécia, no estado do Espírito Santo. Ressalta-se, ainda, os finos produzidos nas operações de acabamento das chapas que contêm produtos químicos e componentes dos abrasivos usados no polimento das mesmas.

Os resíduos finos resultantes do desdobramento de blocos de granitos comerciais em chapas, nos teares convencionais, cujos principais insumos de corte são lâminas e granalha de aço, cal, o pó da rocha e água, são constituídos, principalmente, de sílica (em torno de 60%) e contém também óxidos de alumínio e ferro, óxido de cálcio e outros elementos e compostos em menor proporção. Para este trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre caracterização química de esses resíduos e os valores médios obtidos são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Composição média dos resíduos finos de serrarias de granito

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF*
63,48	13,19	6,90	4,59	1,44	0,12	0,03	0,52	3,81	2,61	0,22	3,08

Fonte: Elaboração Própria (CETEM e resultados de mais 30 autores). \* P.F. Perdas ao fogo

Buzzi (2008) realizou uma pesquisa junto a um grupo de empresas do setor de rochas ornamentais, localizadas no município de Cachoeiro de Itapemirim - ES, e estudou a classificação de lamas provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais (LBROs), de acordo com a NBR 10004. Os resultados mostraram que o resíduo sólido contido nesta lama não possui características que pudessem conferir periculosidade, como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Por outro lado, constatou-se nesta pesquisa que 77% das amostras analisadas foram classificadas como resíduo CLASSE IIA – Não inertes e 23% como resíduos CLASSE II B – Inertes. Os parâmetros que contribuíram para a não inerticidade das amostras foram Al, Ba, Cd, Pb, Cl-, Cr, fenol, Fe, F-, Hg, Ag, Na e SO<sub>4</sub>-2. O Alumínio, além de ter sido encontrado no resíduo sólido, foi encontrado, também, nos extratos solubilizados de rochas naturais, mostrando que a própria rocha já apresentava a participação deste constituinte. O Fe pode fazer parte da constituição da rocha, mas ele é proveniente, principalmente, da granalha e lâminas de aço utilizadas na operação de desdobramento de blocos (serragem), em serrarias que utilizam teares convencionais. Os parâmetros Cd, Pb,

cloreto, fenol, Hg e Na são provenientes, muito provavelmente, dos insumos utilizados na etapa de acabamento das chapas (polimento e resinagem), principalmente no que se refere ao polimento, em que são utilizadas pastilhas abrasivas, para o polimento das chapas.

### **FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A GERAÇÃO EXCESSIVA DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA MINERAL**

Quando se trata de micro e pequenas empresas, o problema da geração de resíduos e, conseqüentemente, do impacto ambiental torna-se mais complicado, pois essas empresas têm dificuldades no acesso a financiamentos para os seus projetos, para que possam utilizar tecnologias mais apropriadas para as atividades da lavra e do beneficiamento, bem como realizar um melhor preparo da sua mão de obra.

Tal como já foi mencionado, um fator que contribui para a geração dessa grande quantidade de resíduos no setor produtivo de rochas ornamentais, tem a ver com o aspecto geológico do maciço a ser explorado, a natureza da rocha, as técnicas utilizadas no desmonte da rocha, técnicas de beneficiamento e a mão de obra utilizada. Portanto, essa grande quantidade de resíduos gerados nas etapas de lavra e beneficiamento das rochas ornamentais pode ser fortemente reduzida, se houver um maior investimento na pesquisa geológica dos maciços ou matacões, por parte dos empresários e, posteriormente, realizar um bom plano de lavra. Isto propiciará, como retorno, um melhor conhecimento das potencialidades do depósito e das suas características geológicas específicas, ao invés de sair, simplesmente, fazendo atividades predatórias de prospecção e lavra (desmonte), cujo resultado é a degradação ambiental e geração de muita perda de material. O que deve-se fazer, é um bom planejamento para as atividades de mineração, principalmente de pesquisa e lavra; escolher a melhor técnica para a extração dos blocos da rocha; melhores tecnologias para o beneficiamento, bem como um melhor preparo técnico da mão de obra utilizada, em todos os níveis da cadeia produtiva.

O que se observa é que boa parte das micro e pequenas empresas, devido à carência tecnológica, empregam métodos rudimentares de extração e de beneficiamento, causando depredação de reservas minerais, grandes perdas de material e significativos impactos ambientais, deixando de lado, ou por desconhecimento, técnicas já disponíveis de desmonte de rochas; tecnologias apropriadas de processo; um melhor conhecimento das características tecnológicas de seus produtos, com a realização de ensaios de laboratório; e utilização de máquinas mais modernas nos processos de produção, ou mesmo no aproveitamento de resíduos gerados na lavra e no beneficiamento.

Em relação à qualificação de mão de obra, a deficiência também é grande. Na maioria dos casos, as pessoas se dirigem para esse tipo de trabalho, com pouco ou nenhum preparo técnico para o mesmo, sendo a experiência adquirida na prática, não havendo, portanto, atualização nas tecnologias de processo e melhor gestão das empresas.

Todos estes problemas vão, sem dúvida, afetar a competitividade dessas pequenas e microempresas ao acesso aos mercados interno e externo, em potencial.

### **GESTÃO DE RESÍDUOS NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Uma boa gestão dos resíduos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais deveria, portanto, começar pela prospecção e pesquisa geológica dos depósitos, antes, obviamente, de iniciar a produção. Mas, lamentavelmente, raramente isto acontece. Se este procedimento fosse usado, certamente, haveria uma redução apreciável na quantidade de resíduos gerados e melhoria da qualidade de produtos nas etapas posteriores de produção (extração e beneficiamento), bem como diminuiria o impacto ambiental causado nestas etapas, e evitaria a degradação ambiental que muito acontece na procura de eventuais novos depósitos.

Essa forma de procedimento contribuiria com a tendência mundial, que é diminuir, o máximo possível, o volume de resíduos produzidos nas etapas de produção, pois estes resíduos ocupam espaços na empresa, degradam o meio ambiente, representam perdas, oneram os produtos e causam problemas com os órgãos ambientais. Porém, para dar solução aos passivos ambientais e aos resíduos que, inevitavelmente, continuam sendo gerados nas empresas, estes precisam ser tratados devidamente e serem, o máximo possível, aproveitados, em aplicações industriais. As empresas, assim agindo, vão, efetivamente, contribuir para a mitigação de impacto ambiental, diminuição de perdas, geração de empregos, menor depredação dos recursos minerais e reconhecimento dos órgãos ambientais.

### 1) Gestão de Resíduos na lavra de Rochas Ornamentais

A gestão de resíduos na lavra, deve ser feita com um bom planejamento desta. Isso sendo feito, a tendência é a minimização de impacto ambiental e, conseqüentemente, de problemas com os órgãos ambientais. Esse planejamento consiste, entre outros, de um bom conhecimento do jazida, com os dados levantados na etapa da pesquisa geológica, seleção do método de lavra, seleção dos equipamentos a serem utilizados, de acordo com as características do jazimento, estrada de acesso ao mesmo, praça para as operações de lavra e manuseio de material, local apropriado para a disposição dos rejeitos da lavra. Com isto feito, a tendência é a diminuição da quantidade de resíduos gerada nas operações de extração.

Com um planejamento adequado, evita-se a disposição dos rejeitos da lavra em locais inadequados, como normalmente se vê, quais sejam: locais dos drenos, encostas dos morros, com o conseqüente assoreamento de rios e córregos, entre outros (Figura 3). E já nesta etapa já se pode iniciar os estudos para o aproveitamento de parte ou de todo o rejeito gerado, bem como o plano de recuperação das áreas degradadas após as operações de extração.

Um exemplo quanto ao total aproveitamento dos resíduos gerados em pedreiras, em diferentes aplicações industriais, pode ser citado o caso das pedreiras de Porriño, na Galícia (Espanha), um aglomerado de mais de 30 empresas que exploram granitos (rosas e cinzas), desde 1928 e com uma vida estimada de mais de cem anos, em uma área de uns 4 km<sup>2</sup>. Os blocos irregulares ou de pequeno tamanho são aproveitados para a produção de ornamentos para jardins, praças públicas, varandas e os pedaços menores são britados no local (que conta com uma planta de britagem industrial) e aproveitados como brita e areia artificial para construção. Em 2003 (IGME, 2006) foram produzidos 150.000 m<sup>3</sup> em blocos, 165.000 m<sup>2</sup> de granito para cantaria e 1,6 milhão de toneladas de agregados. A Figura 4, a seguir, mostra uma vista da pedreira Porriño (Espanha).



Foto: CETEM/MCT

Figura 3 – Resíduos depositados em encostas de morro.



Foto: POCASA – Porriñesa de Canteiras S.A

Figura 4 – Vista aérea das pedreiras de Porriño, na Espanha.

No Brasil, felizmente, é cada vez mais freqüente ver plantas de britagem nas pedreiras para aproveitamento dos resíduos. Está se generalizando, também, a utilização de blocos menores para trabalhos de cantaria e construção (meio-fios, paralelepípedos e outros) e implantação de projetos de artesanato mineral, com o objetivo de gerar emprego e renda para as comunidades próximas. Na região do Cariri cearense, onde se exploram calcários laminados para uso em revestimentos, um convênio com a indústria Itapui Barbalhense de Cimentos, dentro do projeto “Arranjo Produtivo Local (APL) dos Calcários do Cariri”, permite, não só a recuperação (limpeza) de áreas ocupadas por rejeitos (resíduos acumulados ao longo de mais de 30 anos de extração do calcário) mas também a sua utilização como subprodutos, já que a empresa utiliza esses rejeitos na produção de cimento. Um planejamento das operações extrativas está sendo feito, visando a utilização comercial dos rejeitos gerados, para os quais estão sendo desenvolvidos diversos estudos de aplicação industrial, com a colaboração dos parceiros do APL.

## 2) Gestão de Resíduos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (Serrarias)

A gestão de resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais deve ser feita de tal forma que minimize o impacto ambiental, procurando aproveitar, o máximo possível, os resíduos sólidos grossos e finos gerados, estudando as possíveis aplicações industriais para os mesmos. Os resíduos grossos podem ser britados, ou britados e moídos, dependendo das aplicações industriais a que se destinam (brita, areia artificial, argamassas, tintas e outros). Os resíduos finos normalmente são aqueles existentes nos efluentes das serrarias. Estes efluentes de serrarias devem ser tratados de tal forma que os finos sejam separados da água, na chamada separação água/sólido. Esta separação pode ser feita por meio de tanques de decantação feitos de alvenaria (Figura 5); tanque decantador vertical, cilindro-cônico, feito de chapas metálicas (Figura 6), seguido de filtro prensa (Figura 7); filtro de discos, tanques de decantação com meios filtrantes, entre outros. Muitos destes tipos de separação água/sólido já estão sendo utilizados e difundidos em algumas serrarias de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo, notadamente, em Cachoeiro de Itapemirim e Nova Venécia.



Figura 5 - Tanques de decantação em uma pequena serraria. Foto: CETEM/MCT



Figura 6 - Decantador vertical conjugado a filtro prensa (à direita). Foto: CETEM/MCT

A água recuperada nessa separação é recirculada nas serrarias. Os finos recuperados por estes sistemas de separação água/sólido são depositados nas próprias serrarias, em leitos de secagem, criteriosamente construídos para esse fim (Figura 8), ou são transportados para grandes depósitos de resíduos, construídos por algumas Prefeituras. O maior problema, no momento, para os finos produzidos, principalmente em Cachoeiro de Itapemirim, reside em encontrar uma aplicação industrial que absorva a grande quantidade destes resíduos que é produzida diariamente, além dos depósitos já existentes. Muitas pesquisas para aplicações

industriais desses finos têm sido desenvolvidas, para aplicações dos mesmos na indústria cerâmica, fabricação de diferentes tipos de tijolos, fabricação de vidros, rochagem etc, mas a absorção desses finos pela indústria ainda é muito pequena se comparada com a grande quantidade que é produzida. Por outro lado, grande parte destas pesquisas ainda não chegou à indústria.



Foto: CETEM/MCT

Figura 7 - Filtro prensa.



Foto: CETEM/MCT

Figura 8 - Leito de secagem de lama de beneficiamento de rochas ornamentais.

Voltando aos tipos de resíduos produzidos, especial atenção deve ser dada aos efluentes gerados na etapa de acabamento das chapas, pois estes têm a participação de substâncias químicas.

Os esforços na caracterização dos efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados nas usinas de beneficiamento de rochas (serrarias) devem ser dirigidos de forma criteriosa, tendo em vista que as rochas que são beneficiadas apresentam composições mineralógicas variadas. Além disso, elas passam por diferentes tratamentos, nos quais são acrescentados insumos de diferentes características físico-químicas, contribuindo assim para uma composição final bem variada dos efluentes e dos resíduos sólidos contidos nos mesmos.

Partindo deste princípio, o planejamento ou a escolha do método de amostragem, para se conseguir a representatividade da amostra, é de fundamental importância, seja para o projeto de tratamento do resíduo (efluente) ou a sua disposição final.

Deve-se ter em mente, sempre, os princípios da sustentabilidade, tanto para a lavra como para o beneficiamento. O ideal é escolher o processo, que conduza a uma menor geração de resíduos possível. O próximo passo é a reutilização/reciclagem dos resíduos gerados, e, por último, é que se deve optar pelo descarte dos mesmos em aterros ou depósitos de resíduos, mesmo assim, no menor volume possível, após serem devidamente tratados, lembrando que esses aterros, depósitos ou barragens devam ser bem planejados e construídos com o rigor técnico requerido, seguindo normas recomendáveis para cada caso específico.

## **METODOLOGIA PARA O APROVEITAMENTO INDUSTRIAL DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

A classificação de um resíduo gerado é o primeiro passo para verificar os cuidados que se deve ter com o mesmo e estruturar um plano de gestão adequado. A partir desta classificação, é que serão definidas as etapas de coleta de amostra, transporte, armazenagem, manipulação, tratamento e a destinação final, de acordo com as características físicas e químicas do resíduo.

Depois dos cuidados acima mencionados, deve-se estudar as possibilidades do aproveitamento industrial do resíduo. As técnicas utilizadas são adaptações daquelas que são aplicadas na tecnologia de Tratamento de Minérios. De um modo geral, são percorridas as seguintes etapas:

- 1) Amostragem do resíduo
- 2) Preparação da amostra
- 3) Homogeneização
- 4) Caracterização do resíduo (química e mineralógica)
- 5) Estudos tecnológicos
  - 1) Resíduos Grossos
    - a. Classificação por tamanho
    - b. Observação das diferentes frações
    - c. Britagem e homogeneização da amostra
    - d. Caracterização química e mineralógica
    - e. Estudos de concentração (separação gravítica, separação magnética e outros)
    - f. Ensaio tecnológicos de aplicação industrial
  - 2) Resíduos Finos e Ultrafinos
    - Homogeneização da amostra
    - Análise granulométrica (análise das frações)
    - Análises químicas e caracterização mineralógica
    - Estudos de concentração (separação gravítica, separação magnética e outros)
    - Ensaio tecnológicos de aplicação industrial
  - 3) Tratamento de Efluentes
    - Determinação de pH.
    - Determinação da % de sólidos.
    - Análise granulométrica dos sólidos contidos.
    - Ensaio de sedimentação
    - Análises químicas e caracterização mineralógica do resíduo sólido.
    - Estudos, visando a reciclagem da água no processo, entre outros.
    - Estudos de concentração ou purificação dos finos.
    - Ensaio tecnológicos de aplicação industrial para os finos.

Após a realização das pesquisas de laboratório com o resíduo e dos ensaios tecnológicos do produto para uma determinada aplicação industrial, deve ser realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do mesmo nessa indústria. Isto facilita atrair o empresário ou empreendedor.

## CONCLUSÃO

As aplicações industriais para os resíduos de rochas ornamentais vão depender muito das características da rocha que originou o resíduo, porém podem citadas, de uma forma geral, algumas das aplicações industriais mais comuns, quais sejam:

Efluentes: recirculação da água e aplicação industrial para os resíduos finos da rocha

Resíduos Finos de rocha : Argamassas, cerâmicas vermelha (tijolos, tijolo solo-cimento, telhas), vidro, tintas, bloquetes, manilhas, corretivos de solos, mosaicos etc.

Resíduos Grossos : Fábricas de cimento, brita e areia artificial, artesanatos, seixos ornamentais, bijuterias, degraus de escada, muros de contenção de taludes, meio-fio, pavimentação, filetes para muros etc.



Finos de ferro e aço: siderúrgicas.

Madeira, plástico, papel: Reciclagem na indústria Etc.

O que se espera das empresas que trabalham com rochas ornamentais é que elas tenham uma maior preocupação em não depredar os seus jazimentos, que são as riquezas que eles têm em mãos, e que tenham uma maior preocupação com o meio ambiente, não visando apenas o lucro, mas se preocuparem também em realizar um bom planejamento para o aproveitamento dos resíduos gerados na sua indústria, a recuperação das áreas degradadas, procurando desenvolver todas as suas atividades minerárias de uma forma sustentável. Já se nota que muitos empresários já estão imbuídos nesta preocupação. Felizmente.

#### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- Buzzi, D. C. **Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008, 365 p.
- Campos, A. R. de; Silva M. A. R. **“Assistência técnica na exploração de quartzito de Pirenópolis, de Pirenópolis – GO”**. In: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, em Fortaleza. Novembro de 2003.
- Matta, Paulo Magno da. **“Prospecção de rochas ornamentais – Um contribuição à produção limpa”**. In: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza – CE. Novembro de 2003.
- Vidal, Francisco Wilson Hollanda. **Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimentos**. In: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza – CE. Novembro de 2003.
- Campos, A. R. de; **Aprovechamiento de los residuos del corte de la piedra natural de Santo Antonio de Pádua** – RJ. In: IV Reunion Anual de AIESMIN. San Juan-Argentina. Setembro de 2003.
- Campos, A. R. De; Carvalho, E. A.; Peiter, C. C.; Rocha, J. C. **Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de Santo Antonio de Pádua** – RJ. In: I Seminário da Sustentabilidade Ambiental da Mineração. Salvador – BA. Novembro de 2004.
- IGME – Instituto Geológico Minero de España. **La cartografía de calidades industriales de rocas ornamentales en la optimización de explotaciones de granito como piedra natural: Aplicación al yacimiento “Rosa Porriño”**. In: Boletín de la Red temática de Piedra Natural, núm. 2, 2006

## **APL's de rochas ornamentais: estudo de casos**

*Francisco Wilson Hollanda Vidal<sup>1</sup>, Michelle Pereira Babisk<sup>1</sup>  
e Nuria Fernandez Castro<sup>1</sup>*

### **RESUMO**

*Os APLs, segundo a política do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT são definidos como aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e vínculo entre si e com instituições públicas e privadas e outros atores sociais, entre os quais se estabelecem sinergias e parcerias, envolvendo a sociedade, os governos e as unidades produtivas. Os APLs de Base Mineral são de grande importância para o desenvolvimento regional e a interiorização da população. Devido, principalmente à rigidez locacional dos depósitos minerais, muitos desses APLs encontram-se em regiões pobres e com falta de acesso a emprego, tecnologia e recursos. Assim, a política do governo federal vem sendo a de colaborar na solução dos gargalos que dificultam o desenvolvimento sustentável dessas aglomerações. Dentre os principais gargalos que bloqueiam o desenvolvimento da atividade mineral nestes arranjos, estão os de caráter tecnológico, que, de uma forma ou outra, acabam por determinar a competitividade dos produtos e a própria existência legal das empresas mineiras, por força de exigências da legislação ambiental. A presente contribuição apresenta as estratégias e formas de atuação que o CETEM vem utilizando com sucesso na transferência de tecnologia mineral e ambiental para os micros e pequenos produtores nos arranjos de rochas ornamentais de do Espírito Santo (ES) e Santo Antônio de Pádua (RJ), Calcário Cariri (CE), Mármore Bege de Ouroândia (BA) e Quartzitos do Seridó (PB).*

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, existem cerca de 200 aglomerados, predominando os segmentos de rochas ornamentais e minerais industriais, que atendendo a alguns requisitos, tais como: número significativo de empreendimentos, relações de cooperação e algum mecanismo de governança, são transformados em arranjos produtivos locais (APLs).

Os APLs, segundo a política do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT são definidos como aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e vínculo entre si e com instituições públicas e privadas e outros atores sociais, entre os quais se estabelecem sinergias e parcerias, envolvendo a sociedade, os governos e as unidades produtivas.

Os APLs de Base Mineral são de grande importância para o desenvolvimento regional e a interiorização da população. Devido, principalmente à rigidez locacional dos depósitos minerais, muitos desses APLs encontram-se em regiões pobres e com falta de acesso a emprego, tecnologia e recursos. Assim, a política do governo federal vem sendo a de colaborar na solução dos gargalos que dificultam o desenvolvimento sustentável dessas aglomerações. Dentre os principais gargalos que bloqueiam o desenvolvimento da atividade mineral nestes arranjos, estão os de caráter tecnológico, que, de uma forma ou outra, acabam por determinar

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) – Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa (CATE), e-mail: ncastro@cetem.gov.br, fhollanda@cetem.gov.br, mbabisk@cetem.gov.br

a competitividade dos produtos e a própria existência legal das empresas mineiras, por força de exigências da legislação ambiental.

Dentre as múltiplas ações dos APLs destacam-se: a formalização de micro e pequenas empresas de mineração; a inserção, difusão e transferência de inovação e desenvolvimento tecnológico e modernização industrial; a agregação de valor aos recursos minerais; e formação e capacitação de recursos humanos.

O MCT, a partir de 2002, já investiu cerca de 23,9 milhões em APLs de base mineral, na forma de encomendas, editais, convênios e termos de cooperação, perfazendo um total de 14 APLs de rochas ornamentais, apresentados na Figura 1.

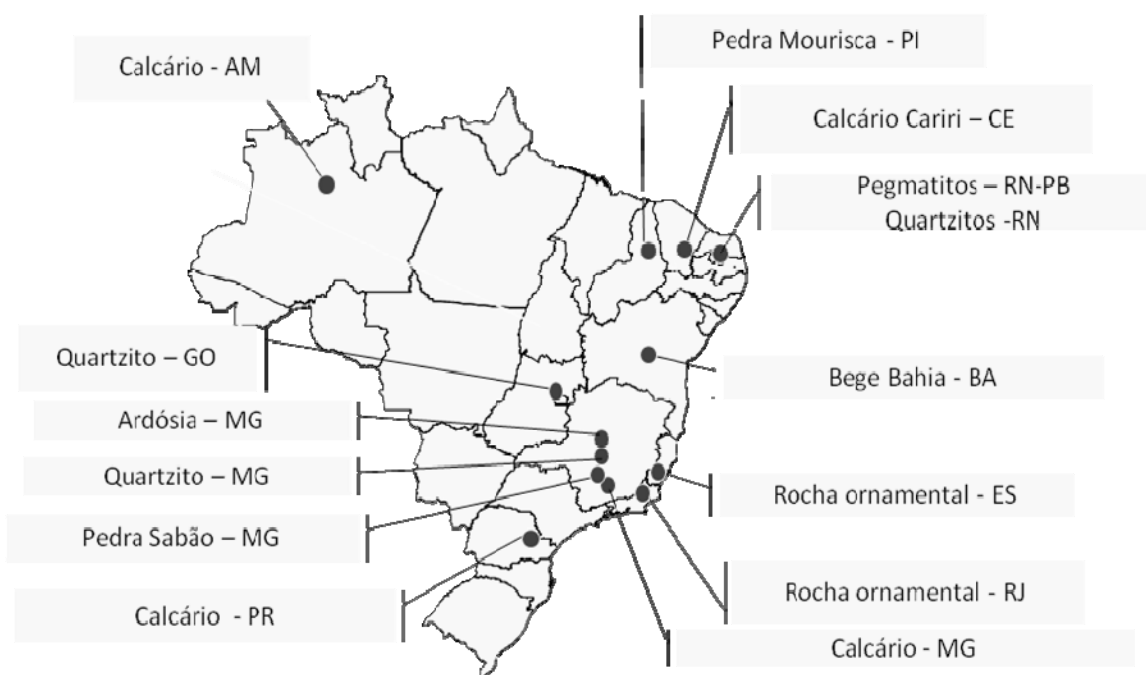


Figura 1 - Distribuição dos APLs de Rochas Ornamentais no Brasil.

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM desde 1996 já vinha realizando programas de apoio à micro e pequenas empresas para o setor de rochas ornamentais, visando aumentar a produtividade com agregação de valor e redução das perdas, propondo alternativas de aproveitamento dos rejeitos da lavra e do beneficiamento, além de introduzir mudanças em processos tecnológicos através de novas máquinas/equipamentos, bem como estudos de melhoria nos efluentes de serrarias, na busca de desenvolvimento sustentável (Vidal, 2003).

Diagnósticos prévios dos APLs revelaram problemas, tais como falta de acesso a tecnologia de baixo custo, baixos preços dos produtos comercializados e impactos ambientais muito negativos. Para reverter este quadro, o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio - MDIC junto com o Ministério de Minas e Energia - MME passaram a apoiar, a partir de 2003 a transferência de tecnologia aos programas de APLs através do Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral) do MCT. O CETEM então começou a promover a capacitação tecnológica em lavra e beneficiamento de rochas ornamentais em cooperativas/associações de produtores e/ou pequenas unidades produtivas comunitárias dentro dos APLs.

A presente contribuição apresenta as estratégias e formas de atuação que o CETEM vem utilizando com sucesso na transferência de tecnologia mineral e ambiental para os micros e

pequenos produtores nos arranjos de rochas ornamentais de do Espírito Santo (ES) e Santo Antônio de Pádua (RJ), Calcário Cariri (CE), Mármore Bege de Ouroândia (BA) e Quartzitos do Seridó (PB).

O CETEM vem atuando no Espírito Santo desde 1999, participando da implementação do APL e a seguir com ações do Projeto Apex, em parceria com a ABIROCHAS como: a elaboração do livro Rochas Ornamentais no Século XXI e do Catálogo de Rochas Ornamentais, a realização de um curso de pós-graduação (latu sensu) em rochas ornamentais e a organização do primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, em 2005, no Brasil. A partir de 2007, atua diretamente no município, através de um campus avançado.

Em Santo Antônio de Pádua, trabalho muito premiado, foram desenvolvidos sistemas de tratamento de efluentes que permitiram a recirculação da água e o aproveitamento dos finos gerados no corte das rochas. Como consequência, houve de se buscar um aproveitamento desses finos que culminou na instalação de uma fábrica de argamassa na região. Como resultados relevantes do APL do Calcário Cariri, destacam-se a regularização das áreas de extração nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri-CE; a confecção de cartilha de segurança para saúde do trabalhador; bem como a organização dos micro e pequenos produtores, com a criação da Cooperativa de Mineração dos Produtores da Pedra Cariri – COOPEDRAS, visando à inclusão de novos produtores; de extração e melhorias no processo beneficiamento; aprimoramento do processo de comercialização; e viabilização de infraestrutura (estradas, energia e água).

No caso do Mármore Bege-Bahia, a metodologia de extração foi grandemente melhorada e aplicações industriais para os resíduos estão sendo estudadas. Por último, para os Quartzitos do Seridó, além da tecnologia de lavra, estão sendo desenvolvidos equipamentos específicos para a obtenção de novos produtos de maior qualidade e valor agregado. Demonstra-se que o sucesso dos trabalhos tem sido favorecido pela transferência de tecnologias simplificadas e adaptadas às condições e necessidades dos arranjos, que, conseqüentemente, contribuirão para o desenvolvimento de inovações de produtos e processos. Atreladas a estas ações, têm-se também as linhas de pesquisas aplicadas para o aproveitamento de resíduos provenientes de lavra e do beneficiamento desses materiais pétreos, objetivando o uso e aplicação industrial, em vários segmentos (argamassa, cerâmica, borracha, vidros, etc.).

## **ESTUDO DE CASOS**

### **APL Rochas Ornamentais - Espírito Santo**

No APL do Espírito Santo o Sindirochas atua com a colaboração do CETEM, Cetemag, IEL/ES, SENAI/ES, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, CentroRochas e SEBRAE.

O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 48% do total brasileiro de rochas ornamentais, incluindo os mármore e granitos. O mais antigo do setor fica no município de Cachoeiro do Itapemirim, onde se encontram muitas jazidas de mármore e a maior parte do parque industrial de beneficiamento, concentrando 60% das empresas do estado (Abirochas).

O município de Cachoeiro de Itapemirim, juntamente com mais 14 municípios compõem o Arranjo Produtivo Local do Espírito Santo, sendo o destaque entre os casos de sucesso do País, contando com cerca de 900 empresas envolvidas, 25 mil empregos diretos e 130 mil empregos indiretos. É o principal núcleo de desenvolvimento do setor no Estado, porque encontrou todas as condições necessárias na cadeia produtiva, desde a pesquisa do potencial geológico, passando pela lavra e o beneficiamento até a comercialização.

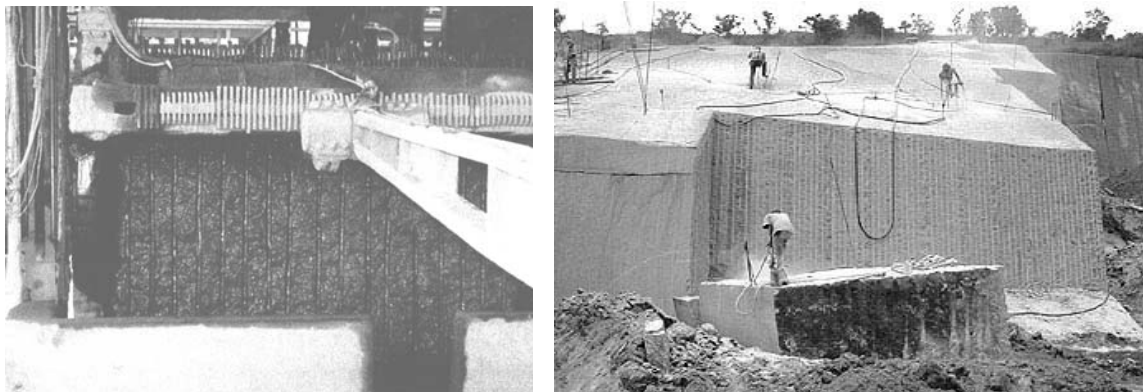


Figura 2 - (a) Tear em funcionamento (Calmon e Silva, 2006) e (b) Frente de lavra de granito

O CETEM vem atuando no estado desde 1999, participando, anteriormente, da implementação do APL e a seguir com ações do Projeto Apex, em parceria com a ABIROCHAS como: a elaboração do livro Rochas Ornamentais no Século XXI e do Catálogo de Rochas Ornamentais, a realização de um curso de pós-graduação (latu sensu) em rochas ornamentais e a organização do primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, em 2005, no Brasil. A partir de 2007, atua diretamente no município, através de um campus avançado que funciona provisoriamente nas instalações do IFES (Figura 3).

Foi assinado um protocolo de intenções com o objetivo principal de construir uma unidade de pesquisa (Figura 4) do CETEM-MCT em um terreno de 10.000 m<sup>2</sup>, doado pela Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim.



Figura 3 - Instalações do Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim - CACI.



Figura 4 - Maquete do Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim - CACI.

O CACI presta serviços às empresas locais, principalmente na caracterização tecnológica e elaboração de laudos, abrangendo os principais insumos utilizados na lavra e no beneficiamento, bem como pesquisas tecnológicas, desempenho ambiental do setor (Inventário de Ciclo de Vida dos produtos de rochas ornamentais), avaliação de indicadores de sustentabilidade (mineração e sociedade), caracterização tecnológica e estudos de alterabilidade em rochas ornamentais.



Figura 5 - Elaboração de laudos técnicos de consumo de insumos.

Como destaque dessas pesquisas, o CETEM com recursos da FINEP/MCT, em parceria com o empresário Aristides Fraga Filho desenvolve um equipamento de nome Ecotear, mostrado na Figura 6, que visa desdobrar blocos de rochas sem o uso de água, o que minimizaria o impacto ambiental caudado pelo processo industrial.



Figura 6 - Ecotear

### **APL Rocha Ornamental - Santo Antônio de Pádua/RJ**

No APL de Santo Antônio de Pádua, com a colaboração dos parceiros, dentre os quais Departamento de Recursos Minerais - DRM/RJ, Instituto Nacional de Tecnologia – INT, SEBRAE e SENAI, o CETEM obteve resultados importantes.

O município de Santo Antônio de Pádua é o principal produtor do Rio de Janeiro. A rocha existente na região é classificada petrograficamente como milonito gnaisses, apresentando

variedades conhecidas localmente como pedra madeira, olho de pombo e pinta rosa, sendo as duas últimas conhecidas comercialmente como pedra Paduana.



**Figura 7** - Lavra de gnaiss de Santo Antônio de Pádua.

Almeida (2001) estudou os rejeitos de pedreiras e sobras das serrarias através de britagem/classificação dos mesmos com vistas a produzir agregados para construção civil.

Foram estudados, pelo CETEM e INT o aproveitamento dos resíduos finos das serrarias visando a sua aplicação na indústria (borracha, cerâmica e argamassa).

Os melhores resultados foram obtidos na formulação de argamassas comuns a colantes com a finalidade de mitigar o impacto ambiental. Outro resultado técnico também importante foi uma transferência de tecnologia de processo de separação sólido/líquido muito simples e de baixo custo, que permite reutilizar a água usada no corte das rochas processadas.



**Figura 8** - Tecnologia de decantação (a) Antes

(b) Depois

O CETEM e o INT obtiveram o privilégio de patente do processo desenvolvido para o aproveitamento de rejeitos na formulação de argamassas. Com isso foi atraído o interesse do grupo empresarial Argamil, que construiu uma fábrica próxima as serrarias, a qual atualmente encontra-se em funcionamento, em Santo Antônio de Pádua.



Figura 9 - Fábrica de argamassas Argamil

### **APL Rocha Ornamental – Calcário Cariri/CE**

No APL Calcário Cariri o CETEM teve como parceiros o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, Instituto de Ensino Tecnológico - CENTEC, Universidade Regional do Cariri - URCA, Companhia de Desenvolvimento do Ceará - CODECE e SEBRAE. Os projetos inseridos no APL foram realizados através do convênio entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Educação Superior - SECITECE e CETEM.

A bacia sedimentar do Araripe é a mais extensa das bacias do nordeste, tem sido ao longo dos últimos 40 anos alvo de estudos geológicos em escala regional e local. A Formação Santana representa mais de 80% dos litotipos pesquisados, onde se localizam os principais depósitos e jazidas minerais de calcário sedimentar laminado, comercialmente conhecido como Pedra Cariri.

O grande pólo da atividade de mineração do Ceará, a Região do Cariri, localizada nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, recebeu o APL, a partir de 2004, que inicialmente trabalhou na formalização abrangendo a criação da cooperativa e regularização de áreas junto ao DNPM e o órgão estadual do meio ambiente. A seguir, atuou na modernização dos processos de extração e beneficiamento com novas tecnologias que aprimoraram a técnica de lavra e processamento do calcário como rochas para fins ornamentais (Vidal e Campos, 2008 e Castro, 2009).

Os problemas ambientais também foram estudados, a utilização do rejeito gerado tanto na extração como no beneficiamento, comercialização, bem como tentar conscientização dos produtores com o problema dos fósseis que por acaso apareçam durante a retirada do calcário.

Foram desenvolvidas máquinas para a fabricação de artefatos minerais provenientes dos rejeitos do beneficiamento (aparas das serrarias). Foram estudados o aproveitamento dos resíduos finos das serrarias visando a sua aplicação na indústria de borracha, ração animal, cerâmica e argamassa dentre outras.





Figura 10 - Melhorias na Tecnologia da lavra e beneficiamento

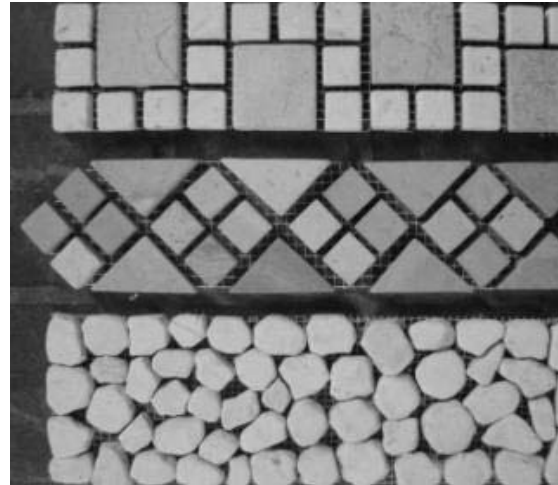


Figura 11 - Aproveitamentos de rejeitos de aparas de serraria

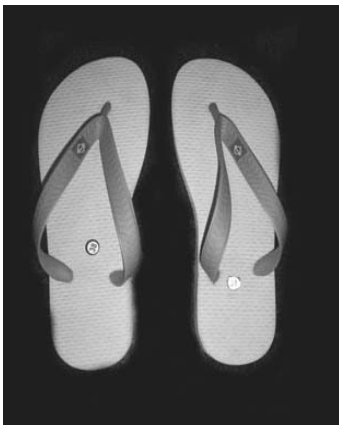


Figura 12 - Aproveitamentos de rejeitos finos de serraria.

### **APL Rocha Ornamental – Mármore Bege Bahia/BA**

No APL do Mármore Bege Bahia a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM atua com a colaboração do CETEM, SEBRAE, SENAI e SIMAGRAM/BA. Os projetos inseridos no APL estão sendo realizados através do convênio entre a Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração - SICM do estado da Bahia os demais citados anteriormente.

O Mármore Bege Bahia é o nome comercial de um calcário secundário do tipo “calcrete”. Esta rocha é tipificada na Formação Caatinga, de ambiente continental. As principais jazidas encontram-se nos municípios de Ouroândia e Jacobina, que abrangem o APL (Magalhães, 2008).

Foi realizado inicialmente o Projeto de investigação Geológica e Ambiental com a finalidade de diagnosticar a economicidade do aproveitamento sustentável do mármore Bege Bahia.

A seguir, com o APL formado realizaram-se cursos de curta duração voltados para pesquisas geológicas e técnicas de lavras em pedreiras, bem como processos de beneficiamento, meio ambiente e segurança do trabalho.



**Figura 13** - Lavra do mármore Bege Bahia



**Figura 14** - (a) beneficiamento

(b) bacia de rejeitos

Alguns estudos técnicos de aproveitamento de rejeitos e levantamento de direitos minerários da região, dentre outros, já foram realizados, bem como regularização das áreas de lavras e extensionismo tecnológico e mineral.

Atualmente o CETEM está estudando a possibilidade de utilizar os finos das serrarias como carga mineral na indústria polimérica. A utilização de cargas minerais na indústria polimérica tem como objetivo a redução de custos para o setor, pois elas preenchem vazios de plásticos e borrachas, tornando viável sua produção. Com o aprimoramento do uso dessas técnicas, pode-se observar que, mais do que o simples enchimento, as cargas possibilitariam mudanças importantes nas propriedades dos materiais poliméricos, como o controle de densidade, melhoria nos efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza e a resistência ao rasgo (Lima, 2007)

Desta forma, a reciclagem desses resíduos é uma alternativa que possibilita o uso como matéria prima em pólos industriais, como o típico existente em Camaçari/BA.

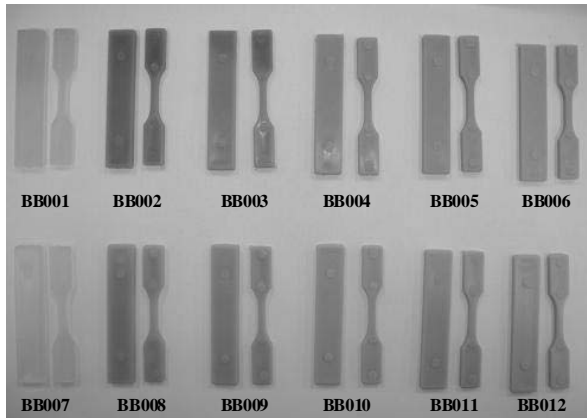


Figura 15 - Compósitos preparados com o resíduo do Mármore Bege Bahia.

### APL Rocha Ornamental – Quartzito/ PB-RN

No APL do Quartzito da Paraíba e Rio Grande do Norte atua com a colaboração dos respectivos estados, juntamente com o Instituto Nacional de Semi-Árido - INSA, CETEM, SEBRAE, SENAI e Universidade Federal de Campina Grande - UFCG através do Departamento de Geologia e Mineração. Os projetos inseridos no APL estão sendo realizados através do convênio entre a FINEP, INSA e CETEM, com a colaboração dos demais parceiros citados.

Os principais depósitos e jazidas de quartzito do estado da Paraíba e Rio grande do Norte estão inseridos na Província Borborema, mais precisamente nos municípios de Várzea e Junco do Seridó, na Paraíba, se estendendo aos municípios de Parelhas e Ouro Branco, no Rio Grande do Norte (Souza *et al*, 2001).

O CETEM iniciou um projeto com o objetivo de expandir e organizar a atividade do APL da pedra de quartzito do Seridó, por meio de melhoria da qualidade do produto e do processo de fabricação da pedra, racionalizando o sistema de produção de forma integrada com a introdução de novas máquinas e equipamentos, tanto para o beneficiamento quanto para a produção de listelos e mosaicos com os resíduos mais grosseiros (aparas).



Figura 16 – Equipamentos: (a) antes



(b) depois.



Figura 17 - Mosaicos/listelos produzidos com os resíduos de aparas de quartzitos

Atualmente, está sendo estudada a possibilidade da utilização dos rejeitos grossos e finos gerados no beneficiamento das rochas na produção de argamassas industriais e colantes. Esse estudo está sendo programado para ser conduzido em escala piloto, que deverá constar das seguintes etapas de processo (a seco): cominuição em dois estágios (moinhos de martelo); classificação granulométrica (trommel); misturadores; e sistemas de ensacamento do produto (argamassas).

Este circuito será complementado com um sistema de coleta de pó, que será constituído de exaustor, ciclone classificador e filtros de manga. A conclusão da instalação está prevista para março de 2011. Atualmente, já está sendo produzida a argamassa comum ou industrial, tipo ACI, a partir de rejeitos das serrarias. Planeja-se produzir, também, nesta usina piloto, as argamassas colantes (ACII e ACIII), de maiores valores agregados, a partir dos rejeitos finos e grossos gerados nessas serrarias. Será estudada, ainda, uma outra alternativa de aproveitamento dos rejeitos de quartzito, que é utilizá-los como matéria prima para a produção de vidro, tendo em vista que estes resíduos de rocha silicática apresentam em sua composição química, majoritariamente, a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que é o óxido formador da rede vítrea, possibilitando a formulação de diferentes tipos de vidro, mediante, apenas, de ajustes de composição.

## REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Rochas Ornamentais no Século XXI**. Disponível: [www.abirochas.com.br](http://www.abirochas.com.br).
- ALMEIDA, S. L. M.; PONTES, I. F. **Aproveitamento de Rejeitos de Pederiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras**, p.89-100 dos Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais do Nordeste, Salvador/BA, nov/dez 2001.
- CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C.. **Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: Domingues, A. F.; Boson, P. H. G.; Alípaz, S.. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. pág. 199 a 231. Disponível em: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), (capturado em 12 jan. 2009).
- CASTRO, N. F.; **Planejamento e Ordenamento da Atividades de Mineração de Calcários no Arranjo Produtiva Local do Cariri-CE**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.
- LIMA, A. B. T., **Aplicações de Cargas Mineraias em polímeros**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.

- MAGALHÃES, A. C. F. Mármore **Bege Bahia: dos Tempos Pretéritos ao Panorama Atual**, p.287-292 dos Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal/RN, nov 2008.
- SOUZA, A. P. F.; LIMA, A.A.; GOPINATH, T. R. E NADLER, H.C.S. **Uma Abordagem Técnica e Ambiental Sobre os Depósitos de Quartzitos no Estado da Paraíba**, p.95-100 dos Anais do I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Salvador/BA, nov/dez 2001.
- VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais e de Revestimento**, p.221-229 dos Anais IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza/CE, nov 2003.
- VIDAL, F. W. H.; CAMPOS, D. A. **Explotando Calcário e Salvando Fósseis na Chapada do Araripe**, p.306-316 dos Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal/RN, nov 2008.

# Promoção pelo MCT da inovação tecnológica em micro e pequenas empresas de mineração organizadas em arranjos produtivos locais (APL) de base mineral

*Elzivir Azevedo Guerra <sup>1</sup> & Francisco Wilson Hollanda Vidal <sup>2</sup>*

## INTRODUÇÃO

O setor mineral brasileiro apresenta as seguintes principais características estruturais e econômicas [PDP Mineração, 2010]:

- A mineração brasileira é bastante concentrada, com um grupo pequeno de empresas que respondem por 90% do valor da produção mineral (VPM) brasileira;
- É responsável (mineração e transformação mineral) por 4,2% do Produto Interno - PIB Bruto brasileiro (US\$ 66,0 bilhões em 2008), pela geração 516 mil de empregos diretos e por 22,3 % das exportações e 60,1 % de saldo comercial brasileiro [MME/SGM & DNPM, 2010];
- As grandes empresas atuando no país (nacionais e estrangeiras) operam no estado da arte, em tecnologia e gestão;
- As micro e pequenas empresas de mineração no Brasil representam cerca de 73% do número de empresas de mineração ativas no País, são responsáveis por cerca de 25% do total de empregos formais na atividade mineral e se forem considerados os empregos oriundos da informalidade este número pode atingir 40%, predominam na produção dos seguintes segmentos: agregados para construção civil (argila; areia; brita), rochas ornamentais (ardósia, granito, gnaisse, calcário; quartzito, mármore), gemas, jóias e afins (diamante; opala, ametista, água marinha) cerâmica vermelha e de revestimento, calcário e cal, gesso e rochas e minerais de pegmatito (feldspato; quartzo, mica), bentonita; diatomita; dolomita; filito; magnesita; pirofilita, talco; vermiculita (com forte peso na informalidade destacam-se pequenos produtores de areia, argila, ouro, diamante, gemas diversas, sílex, cassiterita e quartzo)

Embora as micro e pequenas empresas de mineração no Brasil sejam importantes para geração de emprego e desenvolvimento regional e local, elas apresentam diversos problemas inerentes, que são descritos esquematicamente no quadro 1.

---

<sup>1</sup> Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Coordenação-Geral de Tecnologias Setoriais, E-mail: [eguerra@mct.gov.br](mailto:eguerra@mct.gov.br).

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), Coordenação de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa (CATE), E-mail: [fhollanda@cetem.gov.br](mailto:fhollanda@cetem.gov.br)

Quadro 1 - Principais problemas inerentes a micro e pequenas empresas de mineração no Brasil

Área temática	Problema inerente a micro e pequena empresas de mineração no Brasil
<b>Aspectos Legais</b>	Alta informalidade
	Mineração em áreas não legalizadas
	Mineração sem licenciamento ambiental
	Geração de rejeitos sem tratamento adequado
<b>Recursos Humanos</b>	Baixo nível de qualificação gerencial
	Baixa escolaridade da mão de obra
	Baixa remuneração dos empregados
	Ausência de treinamentos de capacitação técnica
<b>Produção e Tecnologia</b>	Baixa produção e produtividade
	Falta de controle de qualidade dos bens produzidos
	Elevado nível de perdas nas etapas de lavra e beneficiamento
	Ausência de tecnologias apropriadas
	Ausência de métodos de lavra no aproveitamento do bem mineral (sem técnicas e segurança adequada)

Fonte: [Oliveira, J. M. F. *et alli*, 2009] com modificações.

No sentido de contribuir na solução dos referidos problemas inerentes às micro e pequenas empresas de mineração, o Ministério da Ciência e Tecnologia vem fomentando a pesquisa científica, o desenvolvimento tecnológico e a sua inserção e transferência, bem como a capacitação de recursos humanos para micro, pequenas e médias empresas de mineração organizadas em arranjos ou sistemas produtivos locais (APL ou SPL) em segmentos minerais priorizados (água mineral, calcário e cal, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, gemas, jóias e afins, gesso, rochas e minerais em pegmatitos, rochas ornamentais) visando a aumentar a sua competitividade, a melhoria das suas condições ambientais e de saúde e segurança do trabalho. Adicionalmente, as políticas nacionais de mineração [MME/SGM, 2005, 2005a e 2005b], desenvolvimento regional [PNDR, MI, 2007], de desenvolvimento da produção [PDP, MDIC, 2007] e o Plano de ação de CT & I 2007 - 2010 para Desenvolvimento Nacional [MCT, 2007] têm destacado a importância de apoio ao fortalecimento das micro e pequenas empresas, principalmente através da promoção de APLs, o que deve propiciar sobremaneira o desenvolvimento dos segmentos minerais priorizados, já que estes segmentos são constituídos principalmente por empresas desse porte. Além disso, observa-se a necessidade de adoção e promoção de Políticas públicas bem definidas de desenvolvimento específicas para impulsionar o setor, promovendo geração, aquisição e difusão do conhecimento, dando mais visibilidade e diminuindo as distorções, seja com relação à legislação mineral, ambiental, fiscal, segurança ocupacional e trabalhista.

O objetivo do presente trabalho é descrever, de maneira resumida e sistematizada, as informações essenciais sobre a política de apoio do Governo Federal aos APL dos diversos setores, bem como sobre o apoio do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT e Ministérios parceiros às micro e pequenas empresas de mineração organizadas em arranjos produtivos locais de base mineral de segmentos minerais priorizados, de forma que possibilitem, não somente divulgá-las, mas também disponibilizá-las, a todos que estejam envolvidos ou tenha interesse no desenvolvimento e fortalecimento destes APL de base mineral. Nesse sentido, apresentam-se, inicialmente, a definição de APL, a justificativa da escolha da abordagem de APL para desenvolvimento de setores da economia e a estrutura e organização da atuação do governo federal no apoio aos APL. A partir deste esclarecimento, foca-se em seguida, na definição, identificação e priorização dos APL de base mineral de 2001 a 2009 para micro e pequenas empresas de mineração organizadas em APL. Posteriormente, relatam-se as fontes de recursos e investimentos realizados por áreas temáticas, as diferentes abordagens de aplicação dos instrumentos de

apoio no período mencionado, alguns exemplos dos resultados relevantes obtidos entre as ações e os projetos apoiados, com destaques aos resultados alcançados pelo CETEM no apoio ao desenvolvimento de base mineral, e, finalmente, conclui-se destacando aspectos importantes para que o desenvolvimento dos micro, pequenas e médias empresas de mineração organizadas em APL de base mineral seja sustentável do ponto de vista social, econômico e ambiental.

## **POLÍTICA DE APOIO DO GOVERNO FEDERAL AOS ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS (APL)**

O termo e o tema Arranjos e/ou Sistemas Produtivos Locais (APLs) vem despertando interesse nos mais diversos segmentos produtivos do Brasil nos últimos anos. Não poderia ser diferente no ramo de atividade que é a base de muitas cadeias produtivas, que são os insumos de base mineral, presente em quase toda atividade industrial. Além disso, a atividade mineral, tanto formal, como informal, está presente em grande parte dos municípios brasileiros, representando de alguma forma uma atividade econômica, com geração de emprego e renda e, conseqüentemente trazendo desenvolvimento para a região envolvida. Porém, quando se trata das pequenas unidades produtivas, como descrito na introdução, observa-se que a atividade é na sua grande maioria exercida de maneira informal, com baixa capacidade produtiva, baixa remuneração, tecnologias inadequadas, geração de rejeitos sem tratamentos adequados, danos ao meio ambiente etc.[Costa Jr. & Guerra, 2005]. Para contribuir na solução destes problemas das micro, pequenas e médias empresas de mineração, o governo federal optou pela atuação por meio da metodologia do arranjo produtivo local, devido às políticas de fomento tornarem-se mais efetivas quando direcionadas a grupo de empresas e não a empresas individualizadas e ocorrer uma valorização da cooperação, o aprendizado coletivo, o conhecimento tácito e a capacidade inovativa das empresas e instituições locais o que permite encontrar de forma mais eficiente e rápida soluções de problemas coletivos e de competitividade das empresas de uma cadeia produtiva e de desenvolvimento de forma sustentada. O tamanho da empresa passa a ser secundário, pois o potencial competitivo dessas firmas advém não de ganhos de escala individuais, mas sim de ganhos decorrentes de uma maior cooperação entre essas firmas [MDIC, 2008]. Por esta razão, este item será dedicado à definição do conceito de APL, a estrutura e organização da política de apoio do Governo federal aos APL.

### **Definição de APL**

A definição mais utilizada e aceita na literatura nacional é aquela proposta pela Rede de Pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais – RedeSist [RedeSist, 2005]:

“Arranjos produtivos locais – APL são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais – com foco em um conjunto específico de atividades econômicas – que apresentam vínculos mesmo que incipientes. Geralmente envolvem a participação e a interação de empresas – que podem ser desde produtores de bens e serviços finais até fornecedores de insumos e equipamentos, prestadoras de consultoria e serviços, comercializadoras, clientes, entre outros – e suas variadas formas de representação e associação. Incluem também diversas outras instituições públicas e privadas voltadas para: formação de capacitação de recursos humanos, como escolas técnicas e universidades; pesquisas, desenvolvimento e engenharia; política, promoção e financiamento”.

No entanto, no âmbito do governo federal, optou-se por uma menor acuidade no uso do termo APL, mas que fosse consenso por parte das várias instituições envolvidas na elaboração de políticas públicas, tendo sido adotada a seguinte definição[MDIC/GTP APL, 2005]:

“Um APL se caracteriza por um número significativo de empreendimentos e de indivíduos no território que atuam em torno de uma atividade produtiva predominante, e que compartilhem



formas percebidas de cooperação e algum mecanismo de governança, e pode incluir pequenas, médias e grandes empresas”.

### **Estrutura e organização das ações do Governo Federal**

Com o objetivo de viabilizar a política de Governo de promoção e apoio aos APL, como uma das principais formas de alavancagem do desenvolvimento local e regional e de fomento e fortalecimento de grupos de micros, pequenas e médias empresas, vários Ministérios têm incluído ações de apoio e incentivos em seus Planos Plurianuais (PPA 2004 -2007 e 2008 - 2011) e incorporado em suas Políticas Nacionais concernentes às suas áreas de atuação (Mineral, Desenvolvimento Regional, Ciência e Tecnologia, Desenvolvimento da Indústria e do Comércio Exterior) essa visão estratégica dos APLs. Portanto, o apoio a Arranjos Produtivos Locais é fruto de uma nova percepção de políticas públicas de desenvolvimento, em que o local passa a ser visto como um eixo orientador de promoção econômica e social. Seu objetivo é orientar e coordenar os esforços governamentais na indução do desenvolvimento local, buscando-se, em consonância com as diretrizes estratégicas do governo, a geração de emprego e renda e o estímulo às exportações.

Nesse contexto, desde 2004, o Governo Federal passou a organizar o tema Arranjos Produtivos Locais (APL) por meio das seguintes medidas:

- Incorporação do tema no âmbito dos Planos Plurianuais: PPA de 2004 – 2007 e 2008 – 2011;
- Instituição do Grupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos Locais (GTP APL) pela Portaria Interministerial nº 200 de 03/08/04, reeditada em 24/10/2005, 31/10/2006, e 28/04/2008, composto por 33 instituições governamentais e não-governamentais de abrangência nacional, entre os quais 12 Ministérios, com o objetivo de adotar uma metodologia de apoio integrado a arranjos produtivos locais, com base na articulação de ações governamentais. Coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o GTP APL conta com o apoio de uma Secretaria Técnica lotada no Departamento de Competitividade Industrial da Secretaria do Desenvolvimento da Produção. Ainda, com o propósito de ampliar a capacidade de atendimento às demandas dos APL identificados nos estados e a descentralização de sua atuação, foram criados 27 Núcleos Estaduais de Apoio aos APL.
- Incorporação dos APL como destaque estratégico da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP). Destaque-se que, a nova Política de Desenvolvimento tem, também, dentre seus destaques estratégicos, ações relacionadas às micro e pequenas empresas, parte essencial da economia.

A metodologia de atuação integrada do GTP APL tem como principal eixo o reconhecimento e a valorização da iniciativa local, por meio: a) do estímulo à construção de Planos de Desenvolvimento participativos, envolvendo necessariamente, mas não exclusivamente, instituições locais e regionais; b) da busca de acordo por uma interlocução local comum (articulação com os órgãos do GTP APL) e por uma articulação local com capacidade para estimular o processo de construção do Plano de Desenvolvimento (agente animador) [MDIC/GTP APL, 2004b].

Para explicitar os aspectos conceituais e metodológicos da política nacional de apoio aos APL foi elaborado pelo GTP APL um Termo de Referência que contém as finalidades do GTP APL, elementos conceituais referentes à identificação e variáveis determinantes de APL, os objetivos e resultados esperados pela política nacional de APL e as diretrizes e estratégias de atuação das instituições pertencentes ao GTP APL, que estabelece principalmente os procedimentos para elaboração e apresentação Plano de Desenvolvimento pelo APL (PDA) e como cada instituição e Secretaria Técnica do GTP APL e Núcleos Estaduais de apoio aos APL devem atuar no

processo de elaboração, análise e aprovação e implementação do PDA [MDIC/GTP APL, 2004a]. Observa-se que o PDA é elemento importante da metodologia de atuação da política nacional de apoio aos APL e principal instrumento de organização da demanda do APL e de articulação e integração entre os APL e as instituições federais e estaduais.

Com objetivo de estabelecer critérios de ação conjunta interinstitucional para o apoio e fortalecimento de APL e orientar as ações do GTP APL foi elaborado pelo GTP APL o Manual Operacional para as Instituições Parceiras [MDIC/GTP APL, 2004b]. Este Manual define a estrutura de gestão da Política Nacional de apoio aos APL, constituída pelo Conselho de Política para APL, Grupo Técnico e Secretaria Técnica e Núcleos Estaduais de apoio aos APL, e a função e atribuições de cada um destes constituintes; descreve como cadastrar o APL no GTP APL e os critérios de seleção dos APL pelo GTP APL para os quais a metodologia de atuação integrada será aplicada; estabelece diretrizes para realização das etapas de elaboração e análise do Plano de Desenvolvimento Preliminar e a elaboração, análise, aprovação e acompanhamento do Plano de Desenvolvimento Final do APL. Para elaboração do PDA o GTP APL disponibilizou formulário “on line” com instruções de preenchimento contendo os aspectos mínimos necessários que devem constar no PDA.

Como parte da realização de suas finalidades o GTP APL elaborou cadastro com base em levantamento de identificação de APL no país. A atualização do Levantamento dos APL no País, realizada em 2010 pelo GTP APL, identificou 957 arranjos. Destes 261 foram priorizados pelo Governo Federal e Núcleos Estaduais, para aplicação da metodologia de atuação integrada proposta pelo GTP APL. Destes priorizados 125 APL já apresentaram seus Planos de Desenvolvimento, que estão em fase de atendimento pelas instituições locais, estaduais e federais.

#### **APOIO DO MCT AOS ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS DE BASE MINERAL**

Desde 1999 o MCT vem atuando no apoio aos APLs através de investimento de recursos provenientes do Fundo Setorial Mineral e Fundo Verde Amarelo (Universidade-empresa). A crescente atuação na promoção de APLs do Sistema MCT, formado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e suas Agências, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a necessidade de integrá-la ao conjunto das ações de outros órgãos de governo, originou o Programa de Apoio à Pesquisa e à Inovação em APLs (PPI-APLs) [MCT, 2004], vigente de 2003 a 2006, que foi convertido, a partir de 2007, no Programa 21.5 do PACTI 2007 – 2010 intitulado Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Regional com Enfoque em Desenvolvimento Local – APL [MCT, 2007]. O objetivo central do PPI-APLs e do Programa 21.5 do PACTI 2007 – 2010 é o fortalecimento da competitividade dos APLs e geração de renda, através do apoio à PD&I, visando a promoção de desenvolvimento econômico e social sustentável regional. Em adição, objetiva-se apoiar e fortalecer os Sistemas Locais e Regionais de Inovação, consolidando-os como fator de suporte à competitividade dinâmica de empresas e economias regionais, através da integração de Universidades e Instituições Científicas e Tecnológicas ao esforço estratégico de PD&I de empresas inseridas em APLs. A forma de atuação prevista adequa-se às orientações resultantes do esforço realizado pelo Grupo de Trabalho Permanente para APLs (GTP APL). No entanto, deve-se ressaltar, que estes programas apóiam APL das diversas atividades econômicas, incluindo os APL e base mineral. A gestão do PPI-APL e do Programa 21.5 do PACTI 2007 – 2010, coordenada no MCT pela Secretaria de Ciência para Inclusão Social (SECIS), está sendo executada de forma compartilhada, em termos financeiros e de gestão, com as Secretarias de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do MCT, Estaduais de C&T e a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM do MME.

No entanto desde 2003, o MCT definiu, por meio de diretriz do Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral), que o apoio à P,D&I para as micro, pequenas e médias empresas mineradora seria por

meio da metodologia do APL. A implementação dessa política para os APL de base mineral tem sido realizada e coordenada no MCT pela Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – SETEC, e pelo estabelecimento de parceria, em termos financeiros e de gestão, com a SECIS/MCT, a SGM/MME e o GTP APL/MDIC.

Além disso, o apoio do MCT aos APL de base mineral tem-se baseado na Política do Governo Federal de promoção e aumento de competitividade e fortalecimento das micro e pequenas empresas brasileiras, geração de renda e de promoção de desenvolvimento econômico e social, que são parte essencial da Política Nacional de Formalização da Produção Nacional [MME/SGM 2005 e 2005a], da Política Nacional de Desenvolvimento Regional [PNDR/MI, 2007], do planejamento Estratégico do MCT e do Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação [MCT, 2007] e da Política Industrial, Tecnológica e Comércio Exterior e da Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP [MDIC/PDP, 2008].

A seguir descreve-se de maneira sucinta, inicialmente, a definição de APL de base mineral, sua identificação e distribuição geográfica, bem como quais são os segmentos minerais que são considerados como prioritários e dentre estes quais são os APL considerados prioritários para o MCT e MME. Posteriormente será descrita a Política de apoio do MCT aos Arranjos Produtivos Locais (APL) de base mineral e como o MCT vem atuando dentro desse Programa do Governo Federal, descrevendo o objetivo, a diretriz e ações do MCT e CETEM, as diferentes abordagens de apoio do MCT no período de 2003 a 2009, a fonte de financiamento e a distribuição destes investimentos por áreas temáticas do apoio aos APL de base mineral e citados os APL de base mineral apoiados. Finalmente, serão apresentadas ações estruturantes para o setor e descritos os resultados alcançados pelo CETEM na transferência de tecnologia nos APL de base mineral.

### *3.1 Definição*

Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral são aglomerações significativas territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais atuando em torno de uma cadeia produtiva que tenha como base a atividade extrativa e de transformação mineral e que compartilhem formas percebidas de cooperação e algum mecanismo de governança, e pode incluir pequenas, médias e grandes empresas.

### *3.2 Identificação e distribuição geográfica dos APL de base mineral*

Por demanda do Fundo Setorial Mineral, em 2002, foi realizado o Estudo “Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral no Brasil” pelo Instituto Metas de Crescimento Empresarial Ltda, por meio de encomenda e financiamento do Fundo Setorial Mineral, efetivada pelo CNPq [. Esse estudo constitui-se na primeira sistematização de identificação e caracterização de arranjos produtivos de base mineral realizado a nível nacional e tem sido de grande importância para área do MCT que trabalha com recursos minerais e para o Fundo Setorial Mineral, pois possibilitou traçar diretrizes e prioridades de apoio e promoção com relação aos APL de base Mineral. Nesse estudo identificou-se, em um universo de 222 aglomerados produtivos de base mineral. Desses, 29 foram melhores classificados quanto aos seus estágios de estruturação e competitividade, e considerados já evoluídos ou em evolução para a condição de APL.

Com base nos resultados deste estudo, no levantamento e priorização de APL feitos pelo GTP APL e em demandas apresentadas pelos estados, Sebrae ou pelo setor empresarial, foram priorizados pelo o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e o Ministério de Minas e Energia (MME) 59 APL de base mineral, listados e mostrados na figura 1. Observa-se que os APL de base mineral encontram-se distribuídos nas diferentes regiões do País, mas que o Sudeste (SE)

e nordeste (NE) apresentam as maiores quantidades, sendo respectivamente, 33% e 27 % do total.

Devido à maioria das micro, pequenas e médias empresas de mineração ser de rochas e minerais industriais definiu-se como segmentos minerais prioritários a serem apoiados por meio da abordagem do APL: água mineral, calcário e cal, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, gemas, jóias e afins, gesso, minerais e rochas de pegmatitos e rochas ornamentais.

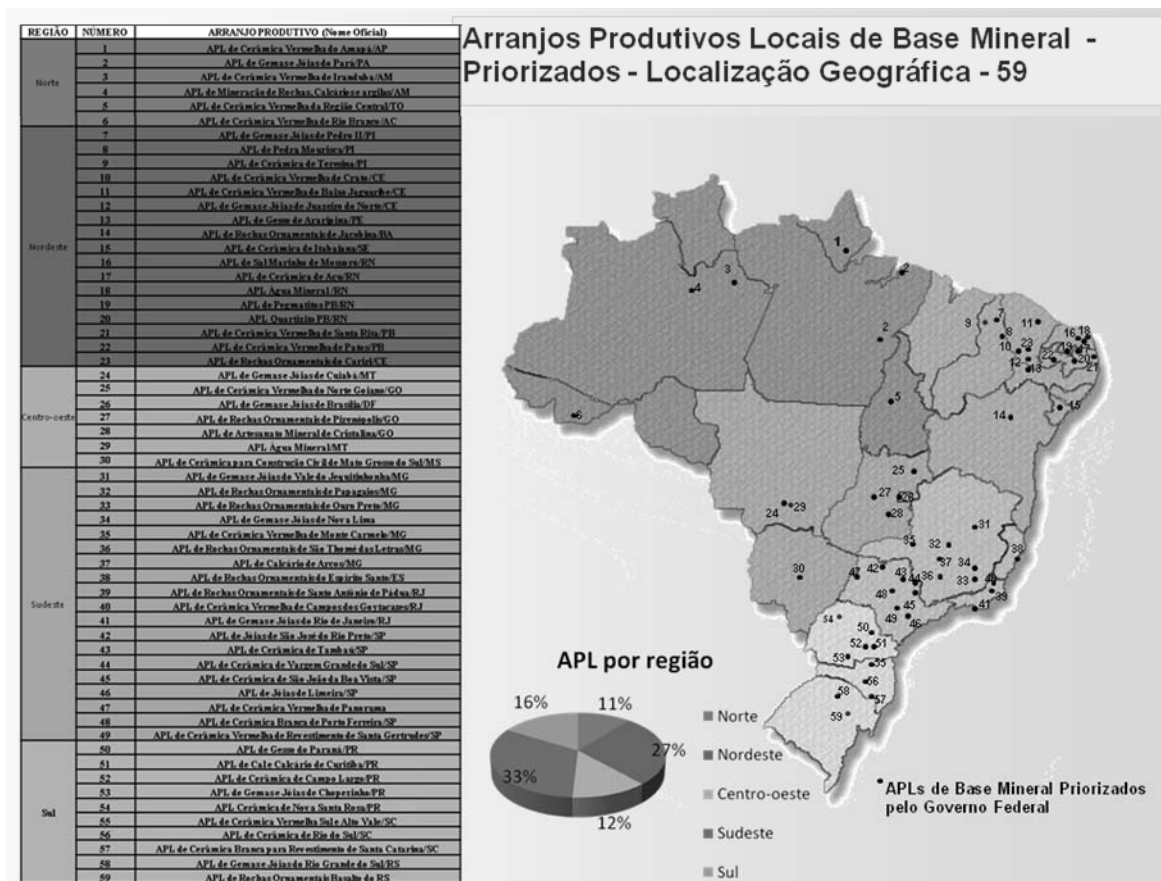


Figura 1 - Distribuição geográfica dos 59 APL base mineral priorizados pelo MCT e MME.

A figura 2 mostra dentre estes APL de base mineral priorizados quais o que foram apoiados pelo MCT e parceiros do Governo Federal, totalizando 31.

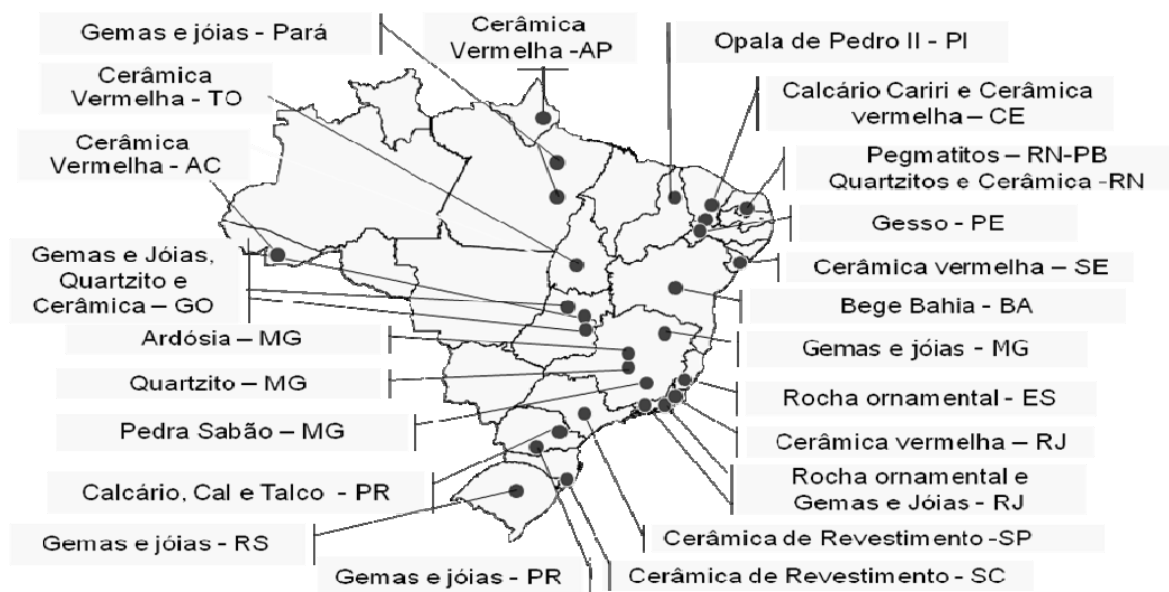


Figura 2 - APL de base mineral priorizados pelo Governo Federal que já receberam apoio do MCT e parceiros

### 3.3 Diretriz, objetivo e ações de apoio aos APL de base mineral

A principal diretriz do apoio aos APL de base mineral é de capacitação técnica e gerencial das micro, pequenas e médias empresas de mineração dos segmentos priorizados organizadas na forma de arranjos produtivos locais, com objetivo de aumentar a eficiência da estrutura produtiva, melhorar as condições ambientais e de saúde e segurança ocupacional, a capacidade de inovação da empresa e expansão de suas exportações.

Para alcançar estas diretrizes as seguintes ações são fomentadas e apoiadas:

- Formalização de micro e pequenas empresas de mineração;
- Desenvolvimento local e regional;
- Inserção, difusão e transferência de tecnologia e inovação e modernização industrial;
- Formação e capacitação de recursos humanos e laboratórios;
- Divulgação e intercâmbio técnico-científico;
- Promoção do acesso à informação (RedeAPLmineral);
- Normalização e avaliação da conformidade de cadeias produtivas de minerais não metálicos;
- Redes de serviço e extensionismo tecnológico;
- Inovação para sustentabilidade da mineração.
- A agregação de valor aos recursos minerais pela inovação de processo e produto
- Substituição competitiva de importações de equipamentos e serviços

Esta diretriz e ações estão incluídas e fundamentadas nas diretrizes e metas, inicialmente, do planejamento estratégico do MCT, entre 2003 e 2006, e, posteriormente, do Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação 2007 a 2010, entre 2007 e 2010, do Fundo Setorial Mineral [MCT, 2005b], coordenada pela SETEC/MCT; e do Fundo Verde Amarelo, do Programa de apoio à pesquisa e inovação aos APLs do MCT [MCT, 2004], do Programa 21.5 Ciência e tecno-

logia para o Desenvolvimento Regional com Enfoque em desenvolvimento Local – APL [MCT, 2007], da ação de popularização e divulgação da ciência através do Programa de Centros Vocacionais Tecnológicos de apoio técnico e de capacitação de RH aos APLs, coordenado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (SECIS) do MCT.

Dentro das ações acima o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, unidade de pesquisa do MCT, tem atuado de maneira decisiva na implementação das seguintes ações em diferentes APL de base mineral: inserção, difusão e transferência de tecnologia e inovação e modernização industrial, na formação e capacitação de recursos humanos e laboratórios, divulgação e intercâmbio técnico-científico, promoção do acesso à informação (RedeAPLmineral), normalização e avaliação da conformidade de cadeias produtivas de minerais não metálicos, redes de serviço e extensionismo tecnológico, inovação para sustentabilidade da mineração, a agregação de valor aos recursos minerais pela inovação de processo e produto e substituição competitiva de importações de equipamentos e serviços. A atuação do CETEM na realização destas ações de apoio aos APL de base mineral tem como objetivos:

- Promover a capacitação tecnológica em lavra e beneficiamento de bens minerais em cooperativas/associações de produtores e/ou pequenas unidades produtivas comunitárias dentro dos APL;
- Dotar os pequenos empreendimentos mineiros de processos tecnológicos mais eficazes de extração e beneficiamento, com ganhos de produtividade, minimização dos impactos ambientais e melhoria dos níveis de segurança e saúde; e,
- Estimular a disseminação e/ou implantação de tecnologias inovadoras e padronização de produtos.

As metas definidas pelo CETEM para alcançar estes objetivos em sua atuação nos diferentes APL são as seguintes:

- Desenvolvimento tecnológico das micro e pequenas produtores e cooperativas/associações de produtores de APL de base mineral por meio de ação estruturante em toda a cadeia produtiva (pesquisa geológica, lavra, beneficiamento, design, industrialização e comercialização).
- Estabelecimento de governança por meio de articulação entre todos os atores que intervêm no APL (nível local, estadual e nacional).
- Definição de modelo de gestão por meio de estabelecimento de comitê gestor, grupo de trabalho temático e realização de planejamento estratégico.
- Visão sistêmica da cadeia produtiva de base mineral que envolva ações voltadas para desenvolvimento sustentável da mineração, mercado, tecnologia, crédito, tributação, gestão e comunicação.
- Sustentabilidade do APL por meio de ações que contribuam para estabelecer o equilíbrio dos aspectos econômicos, sociais e ambientais do APL.

#### *3.4 Fontes de Recursos e investimentos realizados no período de 2001 a 2009*

Os investimentos realizados pelo MCT no apoio aos APL de base mineral tem sido realizado por meio de ações de fomento às seguintes áreas temáticas: elaboração de estudos prospectivos de tecnologias e inovação para o setor, à pesquisa aplicada, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, à capacitação de RH, a eventos de divulgação e intercâmbio técnico-científico e o acesso à informação e conhecimento. Estes investimentos realizados foram baseadas nas diretrizes e metas descritas no item anterior. A tabela I apresenta a distribuição dos recursos investidos pelo MCT por áreas temáticas realizados no período de 2001 a 2009. O montante aplicado, neste período foi de R\$ 26,4 milhões e apresenta uma média anual de R\$ 2,9 milhões,

na forma de encomendas, editais, convênios e termos de cooperação. Como a média anual dos recursos executados pelo CT-Mineral, no mesmo período foi de R\$ 5,1 milhões, observa-se que os valores investidos em APL de base mineral equivale à 57,1 % dos valores do CT-Mineral, mostrando o apoio prioritário dado aos APL de base mineral pelo Fundo Setorial Mineral, ressaltando-se, no entanto, que os investimentos em APL de base mineral não são provenientes unicamente do CT-Mineral. A tabela I também mostra que a maioria dos investimentos realizados foram na área temática de desenvolvimento tecnológico, inovação e inserção, disseminação e transferência de tecnologia e capacitação de Recursos humanos nos APL de base mineral, para qual foi alocado o valor de R\$ 19,7 milhões, que equivale a 74,5 % do total.

Tabela I - Investimentos realizados pelo Governo Federal nos APL de base mineral no período de 2001 a 2009 distribuídos por áreas temáticas apoiadas.

Áreas temáticas apoiadas dos APL de Base Mineral	Valor dos recursos aplicados (R\$)
Estudos de Identificação e caracterização de APL de base mineral.	1.175.000,00
Desenvolvimento tecnológico, inovação e inserção, disseminação e transferência de tecnologia e capacitação de Recursos humanos nos APL de base mineral.	19.665.050,00
Centros Vocacionais Tecnológico	4.020.000,00
Desenvolvimento de equipamentos	1.086.530,00
Rede Brasileira de Informações de APL de Base Mineral - RedeAPLmineral	270.000,00
Eventos	191.000,00
<b>Total</b>	<b>26.407.580,00</b>

As fontes de recursos investidos em APL de base mineral são provenientes :

- Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT, por meio de ações verticais do Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral) e de ações transversais do Fundo Verde Amarelo, Fundo de Energia Elétrica (CT-Energ) e Fundo do Agronegócios (CT-Agro).
- Orçamento do MCT, provenientes de ações do Plano Plurianual do MCT, coordenadas pela SETEC e SECIS, principalmente para ações na área temática de Centros Vocacionais Tecnológico e apoio a Eventos. A maior parte destes recursos é proveniente de emendas parlamentares.
- Parcerias com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM do MME, com recursos provenientes do Programa Nacional de Extensionismo Mineral, com a Secretaria de Programa Regionais do Ministério da Integração Nacional, com recursos provenientes de ações no âmbito da Política Nacional de Desenvolvimento Regional, referentes aos programas PROMESO e CONVIVER e com o GTP APL/MDIC.

A gestão dos recursos mostrados na Tabela I, tem sido feita de maneira compartilhada entre o MCT (Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) e SECIS), o Ministério de Minas e Energia (SGM e DNPM), o MDIC (GTP APL), a comunidade científica e setor empresarial e, entre 2003 - 2007, em parceria com a Rede Brasil de Tecnologia [RBT/MCT, 2005]. Além disso, ressalte-se o fato da intensificação nos últimos cinco anos desse apoio em função da implementação prática da política do Governo Federal de apoio a micro e pequenas empresas de mineração, que anteriormente nunca tinham sido contemplados.

### *3.5 Abordagem de Apoio do MCT aos APL de base mineral*

O enfoque das ações de apoio aos APL de base mineral pelo MCT, por meio do Fundo Setorial Mineral, no período de 2001 a 2009 teve duas abordagens distintas.

A primeira ocorreu no período de 2001 a 2007 o apoio aos APL de base mineral foi realizado por meio de encomendas de projetos cooperativos ICTs/Empresas para APL de base mineral priorizados envolvendo ações vinculadas aos diversos elos da cadeia produtiva e de estruturação e gestão do APL:

- Formação e estruturação da Rede Cooperativa de aprendizagem coletiva e inovação (governo, ICTs, empresas, cooperativas, Sistema S, instituições financeiras, agência de desenvolvimento);
- Gestão e Governança (Comitê Gestor);
- Inovação e Desenvolvimento tecnológico (geologia ao produto);
- Formalização da produção mineral;
- Extensionismo tecnológico;
- Comercialização;
- Capacitação de RH;
- Avaliação da conformidade de produtos;
- Melhoria das condições ambientais e de trabalho;
- Acesso à informação – RedeAPLmineral ([www.redeaplmineral.org.br](http://www.redeaplmineral.org.br)); e
- Plano de Desenvolvimento do APL – (Metodologia do GTP APL).

A segunda, atualmente vigente, ocorreu a partir de 2008 com a implantação da mudança na maneira de implementação do apoio aos APL de base mineral que passou a ser realizado por meio de lançamento de editais anuais focados em linhas temáticas de PD & I importantes e estratégicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva dos segmentos e APLs de base mineral priorizados – CNPq 56/2008, CNPq 12/2009 e CNPq... /2010([www.cnpq.br](http://www.cnpq.br)) - e em respostas as ações demandas dos PDPs - GTP APL, descritas esquematicamente a seguir:

- desenvolvimento de equipamentos e de tecnologias de agregação de valor aos produtos, processos e serviços adequados aos pequenos empreendimentos mineiros nos segmentos priorizados;
- desenvolvimento de tecnologias e metodologias de tratamento, aproveitamento, reciclagem e monitoramento ambiental de rejeitos, resíduos e efluentes e de recuperação ambiental de áreas mineradas, nos segmentos priorizados;
- aumento da eficiência energética e aprimoramento da matriz energética e sistema de queima para os segmentos de cerâmica vermelha e de revestimento, gesso e calcário e cal;
- otimização de processos de beneficiamento, estudos de alterabilidade de rochas, caracterização tecnológica de produtos e avaliação de equipamentos e insumos utilizados na cadeia produtiva de rochas ornamentais;
- desenvolvimento e otimização de equipamentos e tecnologia de lapidação de gemas;
- capacitação de laboratórios de ensaios e análise para os segmentos priorizados; e,
- formação e capacitação de recursos humanos nos níveis médio, superior e pós-graduação nos segmentos priorizados.



### 3.6 Ações estruturantes de Apoio aos APL de base mineral.

Dentre as ações de apoio para o desenvolvimento sustentável dos APL de base mineral serão destacadas algumas de caráter estruturantes.

- Normalização e avaliação da conformidade de produtos dos segmentos minerais priorizados.

A realização desta ação estruturante de apoio a normalização e avaliação da conformidade de produtos dos segmentos minerais priorizados iniciou em 2009. Observou-se que todos os segmentos minerais priorizados apresentam carência de normalização, seja por falta de normas técnicas, seja pela necessidade de atualização das normas com inclusão de novas técnicas de ensaios e análise. Há também a carência de rede de laboratórios acreditados nas diversas cadeias produtivas de base mineral em que ocorrem os diversos APL de base mineral. Por estas razões, foi implementado a partir de 2009 ações de apoio à normalização e avaliação da conformidade nos segmentos minerais e APL de base mineral priorizados. No ano de 2009 foram apoiadas a realização de duas encomendas de apoio à normalização e à avaliação da conformidade, sendo uma para produtos de rochas ornamentais e a outra para gemas, jóias e afins, por meio de projetos cooperativos entre a ABNT, Inmetro, CETEM e Instituto de Radioproteção e Dosimetria –IRD da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, no caso de rochas ornamentais, e entre ABNT, Inmetro e CETEM, no caso de gemas, jóias e afins. Estas duas encomendas iniciaram sua execução em novembro de 2010. Para 2010 foram apoiadas mais duas encomendas de apoio à normalização e à avaliação da conformidade, sendo uma para gesso e seus derivados naturais e a outra para calcário, cal e seus derivados. A do apoio ao gesso está em fase de apresentação da proposta de projeto à Finep e a do Calcário e cal está em fase de articulação. Há previsão que em 2011 sejam apoiadas mais dois segmentos minerais priorizados.

- Rede Brasileira de Informações de Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral - RedeAPLmineral.

Com a atuação a partir de 2003 do Governo Federal no apoio às micro e pequenas empresas do setor mineral organizadas em arranjos produtivos locais detectou-se a necessidade de criar um sistema de informação que era, inclusive, uma forte reivindicação dos micro e pequenos empresários do setor, que se queixavam de não ter acesso a informações sobre novas tecnologias, instrumentos de comércio e crédito, formalização, cooperativismo ou de capacitação gerencial e técnica. Então surgiu por uma iniciativa do MCT/SETEC e MME/SGM a idéia da criação de uma Rede de Informação de abrangência nacional, chamada de Rede Brasileira de Informação de Arranjos Produtivos Locais - RedeAPLmineral, foi lançada e aprovada durante a 1º Congresso Conferência Brasileira de Arranjos Produtivos Locais, em agosto de 2003, em reunião com todos os participantes da Conferência que tinham vinculação com APL de base mineral. Foi acordado que o MME e o MCT seriam os gestores da formação e fomento dessa Rede nos três anos iniciais, nos quais dever-se-ia dotá-la de mecanismo de autossustentabilidade. Em novembro de 2004, a RedeAPLmineral foi instalada oficialmente e teve seu primeiro encontro em Belo Horizonte, MG, durante o 2º Seminário Nacional de Tecnologia para APL de Base Mineral, com a divulgação do documento básico da Rede. Ficou definido que a Rede seria formada por uma coordenação geral e por vários grupos de discussão. Neste momento foi criado a primeira página da RedeAPLmineral que ficou hospedada na Rede Brasileira de Tecnologia (RBT). Mas foi apenas em 2006 que o Fundo do Setor Mineral (CT-Mineral) apoiou a consolidação e o fortalecimento da RedeAPLmineral. A partir daí, costurou-se nova parceria entre a SGM/MME, SETEC/MCT, o ABIPTI e o IBICT para a operacionalização da Rede. Foi realizado o primeiro encontro da Rede Brasileira de Informação de APL de Base Mineral em outubro de 2007, em Brasília, DF, onde foi feito o lançamento do Portal da Rede ([www.redeaplmineral.org.br](http://www.redeaplmineral.org.br)) e também a constituição dos oito grupos de trabalho temáticos

essenciais ao desenvolvimento dos APL de base mineral, que tiveram seus coordenadores e suplentes indicados.

A RedeAPLmineral é definida como uma rede social/virtual de informações e abrangência nacional – sem fins lucrativos – constituída por agentes econômicos, políticos e sociais, públicos e privados, envolvidos com o desenvolvimento sustentável dos Arranjos Produtivos Locais (APL) de Base Mineral que tem como missão ser instrumento eficiente e de excelência na disseminação de informação e conhecimento para o desenvolvimento sustentável dos APL de base mineral do País. Para cumprir essa missão a RedeAPLmineral tem como diretrizes:

- a promoção da autossustentabilidade,
- a gestão do conhecimento e
- desenvolvimento sustentável dos APL de base mineral.

Os seus objetivos estratégicos são:

- de promover a sistematização, disponibilização e disseminação de informações e das diversas formas de conhecimento vinculadas às cadeias produtivas do setor mineral organizadas em APLs de Base Mineral;
- difundir e popularizar as boas práticas de gestão, governança, inserção e desenvolvimento tecnológico, capacitação de RH, sustentabilidade, comercialização, formalização, segurança e saúde do trabalho, organização da produção (associativismo, cooperativismo, economia solidária), crédito e financiamento, etc.; e,
- fornecer insumos para subsidiar a elaboração de políticas públicas para o desenvolvimento dos APL de base mineral.

A participação é aberta aos interessados e pode ser feita por meio do Portal da RedeAPLmineral e é formada por instituições de governo, da comunidade científica e tecnológica, do setor produtivo e por coordenadores e lideranças envolvidas no desenvolvimento e promoção dos APL de base mineral.

Atualmente a RedeAPLmineral é mantida por meio de parceria governamental entre a SETEC do MCT e a SGM do MME com o Ibict e ABIPTI apoiada com recursos provenientes do Fundo Setorial Mineral e orçamentário dos Ministérios da Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia. A partir do final 2010 a RedeAPLmineral será apoiada por uma nova encomenda do CT-Mineral onde o Ibict e o CETEM ficarão encarregados de manter a operacionalização da RedeAPLmineral e seu Portal, em parceria com a SETEC/MCT, SECIS/MCT, SGM/MME e GTP APL/MDIC e ABIPTI. A idéia é que seja aberta o leque de sustentação e seja estabelecida mecanismo de autossustentação, que possibilite a sua existência de forma autônoma e independente do governo nos próximos três anos.

Já foram realizados quatros encontros da RedeAPLmineral. No terceiro e quarto encontro, realizados em 2009, no Rio de Janeiro/RJ, e em 2010, em Goiânia/GO, foi aprovada a reestruturação da RedeAPLmineral, baseada na necessidade de se buscar sua sustentabilidade e adequação à criação do Subgrupo de Trabalho Permanente para APL de base mineral dentro da Estrutura do GTP APL/MDIC. Esta reestruturação da rede incorpora os Grupos de Trabalho Setoriais aos Grupos de Trabalhos temáticos existente, passando a RedeAPLmineral uma estrutura matricial que é mostrado na Figura 3. Nesta nova estrutura a secretária executiva da RedeAPLmineral está vinculada à Coordenação Geral e os colaboradores, de acordo com a função que exercem na Rede, passaram a ser denominados de mantenedores, investidores, articuladores e usuários comuns. Maiores detalhes sobre as modificações geradas pela reestruturação da RedeAPLmineral podem ser esclarecidas pela consulta ao novo documento básico e regimento interno [RedeAPLmineral, 2010].

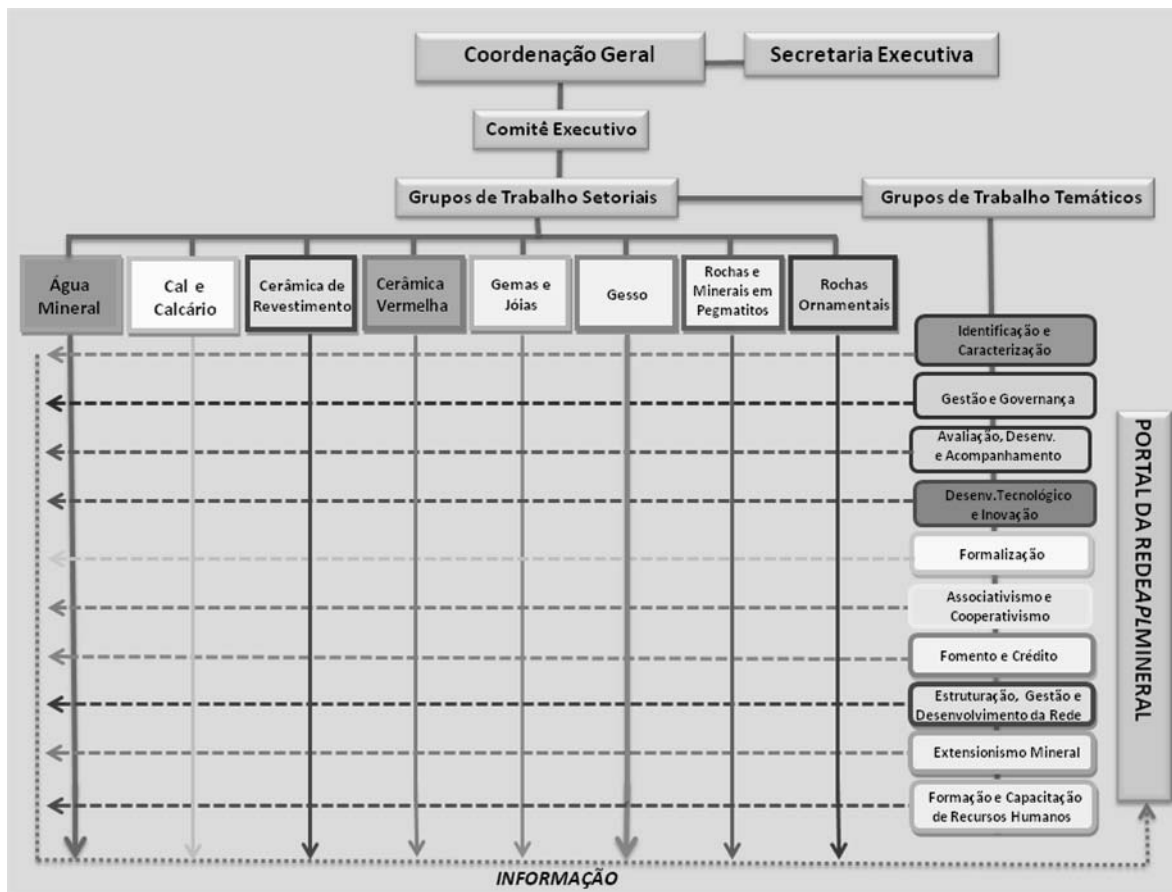


Figura 3 - Reestruturação da RedeAPLmineral com Grupos de Trabalhos Setoriais e Grupos de Trabalhos Temáticos.

- Subgrupo de Trabalho Permanente para APL Base Mineral – SubgrupoAPLmineral [Oliveira & Mendes, 2010]

A idéia da criação do Subgrupo de Trabalho Permanente para APL Mineral surgiu da demanda levantada nos vários Encontros e reuniões da Coordenação Geral da RedeAPLmineral sobre a necessidade da existência de uma rede de apoio e fomento aos APL de base mineral. A criação deste Subgrupo está em fase final de estruturação e vem ao encontro dos esforços governamentais no sentido de aprimorar a formulação e difusão de políticas públicas voltadas à consolidação e desenvolvimento de APL de base mineral, em todo o território nacional.

Em sintonia com a Política Nacional para Arranjos Produtivos Locais, desenvolvida no âmbito do Grupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos Locais (GTP APL), coordenado pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o Subgrupo de trabalho Permanente para APL de base mineral deverá fortalecer a integração, o associativismo e a governança dos APL de base mineral, por meio da participação voluntária, em rede, dos Núcleos Estaduais de Apoio aos APL, parte integrante do GTP APL.

Os objetivos de atuação do Subgrupo de APL de base mineral alinham-se àqueles da criação do GTP APL:

- Identificar os arranjos produtivos locais existentes no país, inclusive aqueles segmentos produtivos que apresentem potencialidade para se constituírem como futuros arranjos produtivos locais de base mineral, conforme sua importância no respectivo território.

- Definir critérios de ação conjunta governamental para o apoio e fortalecimento de arranjos produtivos locais de base mineral no território nacional, respeitando as especificidades de atuação dos órgãos governamentais e estimulando a parceria, a sinergia e a complementaridade das ações.
- Propor modelo de gestão multissetorial para as ações do Governo Federal no apoio ao fortalecimento de arranjos produtivos locais de base mineral.
- Construir sistema de informações para o gerenciamento das ações a que se refere à alínea anterior.
- Elaborar Termo de Referência que contenha os aspectos conceituais e metodológicos relevantes atinentes ao tema, dentre outras atividades relevantes.

O Subgrupo APL mineral estará integrado ao GTP APL, constituído por 33 instituições governamentais e não-governamentais, coordenado pelo MDIC, com uma Secretaria Técnica lotada no Departamento de Competitividade Industrial da Secretaria do Desenvolvimento da Produção, e aos 27 Núcleos Estaduais de Apoio aos APL, que potencializam a atuação integrada do Grupo de Trabalho.

O Subgrupo APL mineral atuará em conformidade com os objetivos e as metodologias do GTP APL, sendo sua abrangência setorial e de apoio integrado aos APL de base mineral existentes no País, com base na articulação de ações governamentais.

Deverá ter em sua coordenação geral, representantes formalmente indicados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, coordenador do GTP APL, e da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia. Sua composição contará com representantes da SETEC/MCT e das instituições integrantes do GTP-APL, afins com o desenvolvimento do setor mineral do País e, ainda, instituições federais que tenham interesse/competência direta nos assuntos desse setor industrial, dentre elas: DNPM, CPRM, e CETEM. Deverão ser convidadas associações e instituições representativas do setor produtivo mineral, tais como ABC, ANICER, ANFACER, ABIROCHAS, ABRICOLOR, ANEPAC, SINDUGESSO, ABICAL, IBGM, CONFEA/CREA, CNTI, dentre outras.

No âmbito estadual deverão ser articuladas, por intermédio dos Núcleos Estaduais do GTP APL, parcerias com instituições e órgãos governamentais que tenham interesse/competência direta nos assuntos setoriais em seus estados, além de entidades representativas do setor privado mineral que tenham relevância em suas atividades nos respectivos estados. Estes parceiros poderão constituir Grupos de Trabalho (GTs) setoriais vinculados à estrutura dos Núcleos Estaduais, os quais deverão, ainda, contar com a participação de representantes locais dos municípios que desenvolvam atividades minerais.

### *3.8 Resultados alcançados pelo CETEM no apoio ao desenvolvimento dos APL de base mineral*

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é uma das Unidades de Pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Sua missão é “Desenvolver tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros”. Ao longo dos seus 32 anos de existência, o CETEM participou de mais de 800 projetos tecnológicos e prestou serviços para mais de 500 empresas atuantes no setor mineiro-metalúrgico, químico e de materiais, órgãos públicos ou privados, nacionais, estrangeiros e até supra-nacionais. Articulação do CETEM cada vez mais intensa com organismos de fomento à pesquisa tecnológica, tem propiciado a aprovação de diversos projetos de P, D & I, levando a uma melhoria de sua estrutura laboratorial e um conseqüente aumento de produção científica e tecnológica, que desde 1996 já vem realizando programas de apoio à micro e pequenas empresas para o setor de rochas ornamentais e gemas, visando aumentar a produtividade através da agregação de valor, redução das perdas e alternativas de aproveita-

mento dos rejeitos da cadeia produtiva, além de introduzir mudanças e inovação de processos tecnológicos com novas máquinas/equipamentos, bem como estudos específicos para aproveitamentos dos rejeitos, na busca do desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o CETEM vem trabalhando em diversos APLs de base mineral, dos quais destacam-se os seguintes, a saber:

– APL Rocha Ornamental - Santo Antônio de Pádua/RJ

O APL de Santo Antônio de Pádua foi o pioneiro no CETEM, com a colaboração dos parceiros, dentre os quais o Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro - DRM/RJ, o Instituto Nacional de Tecnologia - INT, o SEBRAE e o SENAI, o CETEM obteve resultados importantes.

O município de Santo Antônio de Pádua é o principal produtor do Rio de Janeiro. A rocha existente na região é classificada petrograficamente como milonito gnaisse, apresentando variedades conhecidas localmente como Pedra Madeira, Olho de Pombo e Pinta Rosa, sendo, as duas últimas, conhecidas comercialmente como Pedra Paduana.

Foram estudados, pelo CETEM e INT, a eliminação dos finos da água da serragem das rochas, permitindo a recirculação dessa água no processo e o aproveitamento dos resíduos finos resultantes, visando sua aplicação na indústria (borracha, cerâmica e argamassa), além de mitigar o impacto ambiental.

Os melhores resultados foram obtidos na formulação de argamassas comuns a colantes. O CETEM e o INT obtiveram o privilégio de patente do processo desenvolvido para o aproveitamento de rejeitos na formulação de argamassas. Com isso, foi atraído o interesse do grupo empresarial Argamil, que construiu uma fábrica próxima as serrarias, a qual atualmente se encontra em funcionamento, em Santo Antônio de Pádua. Um outro resultado técnico, também importante, foi a transferência de tecnologia do processo de separação sólido/líquido, muito simples e de baixo custo, que permite reutilizar a água usada no corte das rochas processadas e o aproveitamento industrial dos finos na fábrica.

– APL Rochas Ornamentais - Espírito Santo

No APL do Espírito Santo o Sindirochas atua com a colaboração do CETEM, o Centro Tecnológico do Mármore e Granito - CETEMAG, o Instituto Evaldo Loudi - IEL/ES, o SENAI/ES, o Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, o Centrorochas e o SEBRAE.

O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 48% do total brasileiro de rochas ornamentais, incluindo os mármore e granitos. A produção de rochas no estado iniciou-se no município de Cachoeiro do Itapemirim, onde se encontram muitas jazidas e a maior parte do parque industrial de beneficiamento, concentrando 60% das empresas do estado.

Cachoeiro de Itapemirim, juntamente com outros 14 municípios, compõem o Arranjo Produtivo Local do Espírito Santo, sendo o destaque entre os casos de sucesso do país, contando com cerca de 900 empresas envolvidas, 25 mil empregos diretos e 130 mil empregos indiretos. É o principal núcleo de desenvolvimento do setor, porque encontrou todas as condições necessárias na cadeia produtiva, desde a pesquisa do potencial geológico, passando pela lavra e o beneficiamento até a comercialização.

O CETEM vem atuando no estado desde 1999, participando, anteriormente, da implementação do APL e a seguir com ações do Projeto Apex, em parceria com a ABIROCHAS como: a elaboração do livro Rochas Ornamentais no Século XXI e do Catálogo de Rochas Ornamentais, a realização de um curso de pós-graduação (*latu sensu*) em rochas ornamentais e a organização do primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, em 2005. Desde 2007, atua diretamente no município, por meio de um núcleo avançado, que funciona, provisoriamente, nas instalações do IFES, prestando serviços às empresas locais, principalmente na caracterização tec-

nológica e a elaboração de laudos técnicos abrangendo os principais insumos utilizados na lavra e no beneficiamento, bem como no desenvolvendo de pesquisas tecnológicas. Como destaque dessas pesquisas, o CETEM vem desenvolvendo estudos de aproveitamento de resíduos provenientes dos finos das serrarias dos teares, na produção de chapas de rochas ornamentais, como também de novos equipamentos de serragem, no caso, com recursos da FINEP/MCT, em parceria com o empresário Aristides Fraga Filho, que desenvolve um equipamento de nome Ecotear que visa desdobrar blocos de rochas ornamentais, sem o uso de água, o que minimizaria, radicalmente, o impacto ambiental causado atualmente pelo processo industrial.

Atualmente encontra-se em início de construção o prédio de 1.500m<sup>2</sup>, em um terreno de 10.000 m<sup>2</sup>, doado pela Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim, onde se instalará definitivamente o Núcleo Avançado do CETEM/MCT, que atualmente conta com uma equipe de 22 profissionais, composta de mestres e doutores, entre funcionários e bolsistas, especializadas em rochas ornamentais e materiais.

#### – APL Rocha Ornamental – Calcário Cariri/CE

No APL Calcário Cariri, o CETEM teve como principais 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. Os projetos contemplados no APL foram realizados mediante um convênio entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Estado do Ceará - SECITECE e o CETEM.

A bacia sedimentar do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do nordeste, tendo sido ao longo dos últimos 40 anos alvo de estudos geológicos em escala regional e local. A Formação Santana representa mais de 80% dos litotipos pesquisados, onde se localizam os principais depósitos e jazidas minerais de calcário sedimentar laminado, comercialmente conhecido como Pedra Cariri.

O APL de Calcário do Cariri começou a ser formado em 2004, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, dentro do grande pólo da atividade de mineração do Ceará, a Região do Cariri. Inicialmente, trabalhou-se na formalização da produção, abrangendo a criação da cooperativa e regularização de áreas junto ao DNPM e o órgão estadual do meio ambiente. A seguir, atuou-se na modernização dos processos de extração e beneficiamento com novas tecnologias que aprimoraram as técnicas de lavra e processamento do calcário como rocha para fins ornamentais. Foram desenvolvidas e fabricadas máquinas para dar um melhor acabamento aos materiais produzidos e para fabricar artefatos minerais provenientes dos rejeitos do beneficiamento (aparas das serrarias).

Os problemas ambientais também foram estudados, incluindo-se a utilização do rejeito gerado, tanto na extração como no beneficiamento, nas indústrias de borracha, ração animal, cerâmica e argamassa, dentre outras, buscando a redução do grande impacto ambiental produzido pelo acúmulo de rejeitos na região. Por outro lado, foi realizado um grande trabalho de conscientização dos produtores a respeito da importância da proteção dos fósseis existentes na região e treinamentos para a retirada e encaminhamento ao DNPM dos exemplares que por acaso apareçam durante a retirada do calcário.

A Implantação de um Centro de Tecnologia de Beneficiamento da Pedra Cariri objetivando a instalação de máquinas (esquadrejadoras, calibradoras e refilatrizes) com tecnologias de beneficiamento inovadoras, para melhoria do processamento da Pedra Cariri, para formação de profissionais para o setor e desenvolvimento de estudos tecnológicos é o grande desafio do APL para os próximos anos.

Como resultados relevantes do APL destacam-se a regularização das áreas de extração nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri-CE, a confecção de cartilha de segurança para

saúde do trabalhador, bem como a organização dos micro e pequenos produtores, com a criação da Cooperativa de Mineração dos Produtores da Pedra Cariri – COOPEDRAS, visando a inclusão de novos produtores, aprimoramento do processo de comercialização, viabilização de infra-estrutura (estradas, energia e água).

– APL Rocha Ornamental – Mármore Bege Bahia/BA

No APL do Mármore Bege Bahia a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM atua com a colaboração do CETEM, o SEBRAE, o SENAI e o SIMAGRAM/BA. Os projetos contemplados no APL estão sendo realizados mediante um convênio entre a Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração - SICM do estado da Bahia e os demais citados anteriormente.

O Mármore Bege Bahia é o nome comercial de um calcário secundário do tipo “calcrete”. Esta rocha é tipificada na Formação Caatinga, de ambiente continental. As principais jazidas encontram-se nos municípios de Orolândia e Jacobina, que abrangem o APL.

Foi realizado, inicialmente, o Projeto de investigação Geológica e Ambiental com a finalidade de diagnosticar a economicidade do aproveitamento sustentável do mármore Bege Bahia.

A seguir, com o APL formado, realizaram-se cursos de curta duração voltados para pesquisas geológicas e técnicas de lavra em pedreiras, bem como processos de beneficiamento, meio ambiente e segurança do trabalho. Alguns estudos técnicos de aproveitamento de rejeitos e levantamento de direitos minerários da região, dentre outros, já foram realizados, bem como regularização de áreas de lavra e extensionismo tecnológico e mineral.

Atualmente, o CETEM está estudando a possibilidade de utilizar os finos das serrarias como carga mineral na indústria polimérica. Desta forma, a reciclagem desses resíduos é uma alternativa que possibilita o uso como matéria prima em pólos industriais, visando a utilização dos compósitos poliméricos à base de polipropileno, como o típico existente em Camaçari/BA, com intuítos de produção de dormentes (linhas de trem), mobiliário escolar e urbano.

– APL Rocha Ornamental – Quartzito/ PB-RN

O APL do Quartzito da Paraíba e Rio Grande do Norte, conta com a colaboração dos governos dos respectivos estados, juntamente com o Instituto Nacional de Semi-Árido - INSA, o CETEM, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE, o Serviço Nacional de Aprendizado Industrial - SENAI e o Departamento de Geologia e Mineração da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Os projetos elaborados para o APL estão sendo realizados mediante um convênio entre a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, o INSA e o CETEM, com a colaboração dos demais parceiros citados.

Os principais depósitos e jazidas de quartzito dos estados da Paraíba e Rio grande do Norte estão inseridos na Província Borborema, mais precisamente nos municípios de Várzea e Junco do Seridó, na Paraíba, estendendo-se pelos municípios de Parelhas e Ouro Branco, no Rio Grande do Norte.

O CETEM iniciou um projeto com o objetivo de expandir e organizar a atividade do APL de quartzito do Seridó, por meio da melhoria da qualidade do produto e do processo de fabricação da pedra, racionalizando o sistema de produção de forma integrada, com a introdução de novas máquinas e equipamentos.

Atualmente, o CETEM está estudando a possibilidade de utilizar os rejeitos grossos da lavra e do beneficiamento bem como os finos das serrarias na formulação de argamassas colantes. Esse estudo será também realizado em escala piloto que consta das seguintes etapas de processo: cominuição em dois estágios (moinhos de martelo); classificação granulométrica

(trommel de dois decks); 2 misturadores; e sistemas de ensacamento do produto (argamassas). Completa este circuito, um sistema de coleta de pó, constituído de exaustor, ciclone classificador e filtros de manga. Ainda falta instalar apenas um moinho de martelo e o sistema de coleta de pó, que já estão prontos. A conclusão da instalação esta prevista para 2011, porém atualmente esta sendo produzido com os finos da serraria, três tipos de argamassas (AC1, AC2 e AC3) para o mercado consumidor regional. Também estuda uma alternativa inovadora, que é usar os resíduos do quartzito como matéria prima para a produção de vidros, visto que estes resíduos, de rocha silicática, apresentam em sua composição química, majoritariamente a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que é o óxido formador da rede vítrea, possibilitando a formulação de diferentes tipos de vidro, mediante ajustes de composição.

#### – APL OPALA – PI

O APL da Opala do PI, tem como linha de ação atuar em toda a cadeia produtiva da atividade de mineração desse bem mineral. Iniciado em julho de 2005, o APL da Opala tem provocado mudanças positivas nas etapas de lavra, beneficiamento e subseqüentes transformação em destaque a lapidação e joalheria da opala, gerando oportunidades para fortalecer sobremaneira a cadeia produtiva que afetam o desenvolvimento sustentável e a competitividade dos micro e pequenos produtores, viabilizando assim o desenvolvimento sócio econômico regional das opalas.

Surgiram cerca de trinta novas lojas de joalheria. A extração passou de sessenta para quatrocentos quilos, num incremento de quase 700%. Foram gerados quase duzentos empregos diretos. Quatorze novos profissionais de lapidação foram treinados, dos quais três abriram seus próprios empreendimentos. O número de áreas legalizadas aumentou significativamente. Enfim, foi um processo que deu mais visibilidade e rentabilidade a atividade de extração e lapidação da opala.

Existe também o processo de Indicação Geográfica da Opala em fase de finalização; um Centro Tecnológico com uma grande Oficina de Lapidação e Joalheria; estande móvel, estúdio fotográfico, equipamentos de lavra, entre outras estruturas e máquinas que tem sido de fundamental importância para alavancar esse segmento. Ao todo são mais de duas mil pessoas envolvidas na cadeia produtiva da opala de Pedro II, levando-se em consideração os empregos diretos e indiretos. Todo o trabalho é feito de forma conjunta tendo cerca de cento e cinquenta garimpeiros cooperados naquela região.

O APL da Opala é executado no Piauí através de parceria entre a Secretaria Estadual do Desenvolvimento Econômico e Tecnológico, Sedet; Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Sebrae no Piauí; CETEM; Financiadora de Estudos e Projetos, Finep, órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia; entre outras instituições.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para que as micro, pequenas e médias empresas de mineração organizadas em APL de base mineral se torne mais competitivo, aumente a eficiência da estrutura produtiva, aumente a capacidade de inovação das empresas brasileiras e expanda mais ainda suas exportações, há necessidades de pelo menos que se considere os seguintes pontos relevantes provenientes de experiências concretas de ações de apoio aos APL de base mineral implementadas no território em escalas distintas:

- Formalização da produção mineral em pequena escala.
- Pessoal qualificado em gestão e extensão técnica-gerecncial em APL - Extensionismo técnico-gerecncial.



- Definir política pública sistêmica e integrada do governo federal para apoio às micro, pequenas e médias empresas de mineração organizadas no formato APL no território e garantir sua continuidade (mínimo de 8 anos) – respeitando as desigualdades e diversidades existentes no País.
- Prioridade e continuidade pelos governos estaduais e municipais de apoio aos APL que se encontram em seu território.
- Setor empresarial deve estar consciente e compromissado com o objetivo de melhorar sua competitividade e produtividade e inovação.
- Mudança de cultura de “clientelismo, sectarismo e individualismo” para a cultura da “cooperação, aprendizado interativo e inovação”.
- Promover estruturas organizacionais locais que facilitem a gestão de interesse coletivo e governança (fórum, conselho consultivo, comitê gestor, grupos temáticos de trabalho, grupo melhoria conjunta, etc.).
- Existência de coordenador ou facilitador no/do local para desenvolver ou promover de rede cooperativa de aprendizado interativo e inovação entre os participantes locais e externos do APL.

Maior utilização dos mecanismos de fomento e apoio existentes e disponíveis na esfera federal, estadual e municipal, bem como de agentes de apoio ao desenvolvimento local, regional, nacional e internacional. Como exemplo podem ser citados os seguintes programas na esfera nacional que tem sido pouco utilizado pelo setor mineral: Sibratec – Rede de serviços tecnológicos e rede de Extensão Tecnológica - [www.mct.gov.br/index.php/content/view/313014.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/313014.html), Programa Rhae - Pesquisador na Empresa, Cartão BNDES Inovação - [www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/](http://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/), Programa Juro Zero (FINEP) - [www.finep.gov.br/programas/juro\\_zero.asp](http://www.finep.gov.br/programas/juro_zero.asp)

Os principais desafios para o desenvolvimento sustentável dos APL de base mineral são:

- Tornar a mineração em pequena escala em empreendimentos que operem de forma sustentável, do ponto de vista econômico, social e ambiental em diferentes escalas territoriais.
- Realizar ação integrada no território (descentralizada) (Federal/Estadual), o que poderá ser implementado e consolidado por meio da criação e operacionalização do Subgrupo de Trabalho permanente para APL mineral no âmbito do GTP APL/MDIC e Subnúcleos Estaduais Setorial Mineral nos Núcleos Estaduais de APLs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Damo, M.R.S., 2010 (on line). Arranjos produtivos locais impulsionam o desenvolvimento regional - Entrevista. Boletim Regional - Informativo da Política Nacional de Desenvolvimento Regional – nº 9, janeiro/abril e maio/agosto 2010, Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, pp. 7-13. [Acessado em 06.11.2010]. Disponível em URL: [www.integracao.gov.br/download/download.asp?endereco=/pdf/desenvolvimentoregional/boletim\\_n\\_09.pdf&nome\\_arquivo=boletim\\_n\\_09.pdf](http://www.integracao.gov.br/download/download.asp?endereco=/pdf/desenvolvimentoregional/boletim_n_09.pdf&nome_arquivo=boletim_n_09.pdf).

COSTA JR, C. N. & GUERRA, E. A. Sistema de Apoio Governamental para o Desenvolvimento Sustentável de arranjos Produtivos locais de Base Mineral, Anais do I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. 20 a 23 de fevereiro de 2005, Guarapari, ES, 8 páginas.

- Instituto Metas de Crescimento Empresarial Ltda/ Sistema FIEMG, 2002 (on line). Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral no Brasil, CNPq/Fundo Setorial Mineral/MCT, 2002. [Acessado em 05.11.2010]. Disponível em URL: [www.mct.gov.br/index.php/content/view/40039.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40039.html)
- MCT, 2004. Programa de Apoio à Pesquisa e à Inovação em Arranjos Produtivos Locais (PPI-APLs), MCT, CNPq & FINEP, 2004, 24 pag. [documento não publicado].
- MCT, 2005.(on line). Diretrizes para o Fundo Setorial Mineral (CT-MINERAL), Gerência do Fundo Setorial Mineral, Brasília, Maio de 2001, [Acessado em 05.11.2010]. Disponível em [www.mct.gov.br/index.php/content/view/26302.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/26302.html).
- MCT, 2007 (on line) O Plano de ação de C, T & I 2007 – 2010. [acesso em 30.10.2009] Disponível em URL [[www.mct.gov.br/index.php/content/view/66226.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/66226.html)]
- MDIC/PDP, 2008 (on line). Plano de desenvolvimento Produtivo, 2008, [acesso em 05.11.2009] Disponível em URL: [[www.desenvolvimento.gov.br/pdp/index.php/sitio/inicial](http://www.desenvolvimento.gov.br/pdp/index.php/sitio/inicial)]
- MDIC/GTP APL, 2004a (on line). Termo de Referência para Política Nacional de Apoio ao Desenvolvimento de Arranjos Produtivos Locais. MDIC, 2004, 16 páginas . [acesso em 05.11.2009] Disponível em URL: [[www.mdic.gov.br//arquivos/dwnl\\_1277405676.pdf](http://www.mdic.gov.br//arquivos/dwnl_1277405676.pdf)]
- MDIC/GTP APL, 2004b (on line). Manual Operacionl para as Instituições Parceiras, MDIC, 2004, 57 páginas. [acesso em 05.11.2009] Disponível em URL: [[ww.mdic.gov.br//arquivos/dwnl\\_1277405749.pdf](http://www.mdic.gov.br//arquivos/dwnl_1277405749.pdf)]
- MDIC, 2007 (on line) Política de Desenvolvimento da Produção. [acesso em 30.10.2010] Disponível em URL [[www.desenvolvimento.gov.br/pdp/index.php/sitio/inicial](http://www.desenvolvimento.gov.br/pdp/index.php/sitio/inicial)]
- MME/SGM, 2005. Programa Nacional de Formalização da Produção Mineral (PRONAFOR) – Termo de Referência, 2005, 8 pag. [documento não publicado].
- MME/SGM, 2005a. Programa Nacional de Formalização da Produção Mineral (PRONAFOR) – 1ª Etapa Projeto Básico, 2005, 11 pag. [documento não publicado].
- MME/SGM, 2005b. Programa Nacional de Capacitação do Pequeno Produtor Mineral, 2005, 5 pag. [documento não publicado].
- MME/SGM & DNPM, 2010. Sinopse 2010 – Mineração e Transformação Mineral (metálicos e não metálicos), agosto 2010.
- Oliveira, J.M.F., Mendes, E.S., Costa Jr., C.N. & Guerra, E. A., 2009. Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral (APL), MME/SGM, Perspectiva Mineral, Ano 1, Nr.4, dezembro de 2009, 13 pag.
- Oliveira, J.M.F. & Mendes, E.S., 2010. Proposta de Criação do Subgrupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos de Base Mineral – SubgrupoAPLmineral. 2009, 7 pag. [documento não publicado].
- PDP Mineração/MME/SGM, 2010. Proposta de PDP da Mineração 2010 – 2014, setembro 2010, 37 pag.[documento não publicado].
- PNDR/MI, 2007 (on line). Política Nacional de Desenvolvimento Regional, MI, 2004, [Acessado em 05.11.2010]. Disponível em URL [www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/pndr/](http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/pndr/)
- RedeAPLmineral, 2010 (on line). Novos documentos da RedeAPLmineral, 2010. [Acessado em 05.11.2010]. Disponível em URL: <http://www.redeaplmineral.org.br/apl/sobre-a-rede-1/documentos-da-rede>

- RedeSist, 2005. Glossário de Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais (GASPIL), Coordenação de Helena M. M. Lastres & José E. Cassiolato, Rede de Pesquisa de Arranjos e Sistemas Produtivos Locais – RedeSist, Oitava revisão, dezembro de 2005, 29 pag.
- Vidal, F. W. H.; Pinto, D. A. M.; Gomes, E.. Plano de Impacto Ambiental das Atividades de Mineração das Opalas da Região de Pedro II. Relatório Técnico RT2007-032-00. Centro de Tecnologia Mineral, 2007.
- Vidal, F. W. H.; Leite, W. C.; Moraes, M. G. N. O. Diagnóstico Sócio-Econômico e Ambiental da Região de Pedro II. Relatório Técnico RT2007-033-00. Centro de Tecnologia Mineral, 2007.
- Vidal, F. W. H.; Leite, W. C.; Pinto, D. A. M.; Gomes, E.; Moraes, M. G. N. O.; Marques, A. J. S. Projeto de Recuperação Ambiental da Mina do Boi Morto – Opalas de Pedro II, Piauí. Relatório Técnico RT2007-034-00. Centro de Tecnologia Mineral, 2007.
- Vidal, F. W. H.; Castro, N. Arranjo Produtivo Local (APL) de Base Mineral dos Calcários do Cariri – CE. Relatório Técnico RT2009-028-00. Centro de Tecnologia Mineral, 2009.

# Aplicabilidade do resíduo industrial de rochas ornamentais na indústria cerâmica

Farah Diba da Silva<sup>1</sup>; Felisbela Maria da Costa Oliveira; Júlio César de Souza

## RESUMO

*O corte e polimento de rochas ornamentais geram resíduos que causam problemas ambientais. A lama oriunda do polimento da superfície de chapas para fins ornamentais é composta de pó de rocha, abrasivo do rebolo de polimento e água, doravante denominada pó fino do polimento (PFP). Neste trabalho foram determinados e analisados parâmetros físicos e mecânicos de corpos de prova produzidos a partir de massas compostas de PFP e argila (10%PFP/90% argila e 40%PFP/60% argila), visando à fabricação de produtos de cerâmica vermelha. A finura do rejeito é determinante para a economia de energia de cominuição. A adição de 40% de PFP à argila proporciona valores de plasticidade favorecendo a extrusão das peças e absorção d'água abaixo de 20%, valor limite requerido para as telhas.*

## ABSTRACT

*The cutting and polishing stones generate waste that cause environmental problems. The sludge coming from the polishing surface plate for ornamental purposes is composed of rock powder, abrasive polishing and water, referred to as fine powder polishing (PFP). In this study we determined and analyzed the physical and mechanical test specimens made from mass composed of clay and PFP (10% PFP/90% clay and 40% PFP/60% clay), aiming at manufacturing of clay products. The fineness of waste is crucial to saving energy comminution. The addition of 40% of PFP clay plasticity provides values favoring the extrusion of parts and water absorption below 20% threshold required for the tiles.*

## INTRODUÇÃO

Considera-se como rocha ornamental a que é produzida pela extração em forma de blocos e que, na maioria dos casos, é serrada em placas, visando aplicações na construção civil, decorações e urbanismo. Comercialmente as rochas são classificadas em dois grupos: mármore, que são rochas carbonáticas, e granitos, rochas silicáticas ígneas, de textura granular, contendo minerais essenciais como quartzo, feldspato e mica, segundo Almeida e Chaves (2002).

Estima-se que existam no País, aproximadamente, 1.900 teares em atividade, os quais possuem capacidade de desdobramento variável de acordo com o modelo de cada equipamento. Tais capacidades têm evoluído bastante nos últimos anos, existindo aqueles de menor porte, com capacidade de desdobramento equivalente a 35 m<sup>3</sup>/mês, até os de maior porte, de 120m<sup>3</sup>/mês (jumbo), todos utilizando sistemas de corte baseado no atrito a úmido de barras de ferro e granalha com o bloco. Nos últimos dois anos surgiram no mercado, teares tecnologicamente mais avançados, utilizando fios diamantados para o corte de chapas, usando o mesmo princípio de corte realizado nas frentes de lavra, Balanço Mineral Brasileiro (2001).

---

<sup>1</sup> Pós-Graduação Engenharia Mineral (UFPE). faradiba@ufpe.br/ felisbela.oliveira@ufpe.br/jcsouza@ufpe.br

De acordo com SEBRAE Minas, (2005-2007), cerca de 70% da produção mundial de mármore e granitos são transformados em chapas processadas para revestimento em edificações e produtos beneficiados, com ladrilhos para pisos, escadas e halls. O seu uso em edificações, principalmente na forma de chapas, ladrilhos e colunas, decorre de propriedades como resistência, durabilidade, baixo custo de manutenção, beleza e facilidade de aplicação; 15% é desdobrada em peças para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% para outros campos de aplicações. O consumo de rochas é estimado em 600 milhões de m<sup>2</sup>/ano, sendo os produtos cerâmicos, com um consumo de 3,8 bilhões de m<sup>2</sup>/ano, seus principais concorrentes na construção. A demanda por esses materiais é determinada em função da cor, homogeneidade, movimentação e beleza, entre outras características.

A indústria das rochas ornamentais gera uma enorme quantidade de efluentes de resíduos sólidos por ano. Equacionar o contínuo desenvolvimento do setor, sem que haja um impacto sobre o meio ambiente, é uma prioridade. Dessa forma a reciclagem do rejeito é uma alternativa que possibilita agregar-lhe valor, gerar novos empregos e ajudar a minimizar o problema ambiental, Filho *et al.* (2005).

Material cerâmico é um termo que se estende aos produtos obtidos a partir de substâncias minerais não-metálicas que primeiramente são moldados e em seguida, através de um tratamento térmico em temperaturas elevadas, tornam-se mecanicamente resistentes, Grandi e Renó (1989). Segundo Gonsalves e Vanderline (2003), cerâmica é o material obtido por moldagem, secagem e queima do composto de matérias-primas inorgânicas (minerais ou sintéticas), que através da queima o transforma em um objeto sólido de estrutura parcialmente cristalina e vítrea.

Na indústria cerâmica, resíduos de mármore e granitos são compatíveis com as composições químicas e físicas pré-requisitadas para uma massa cerâmica. A lama apresenta-se de compatível potencial granulométrico a ser incorporado em massas argilosas usadas para a fabricação de produtos cerâmicos. A aplicação na indústria cerâmica se deve também a seu comportamento não plástico, característico de material cerâmico. Teores de ferro, contidos no resíduo, são aceitáveis na composição química da cerâmica vermelha tradicional utilizada para fabricação de telhas, tijolos maciços, blocos estruturais, blocos de vedação, lajotas, elementos vazados, agregados leves, etc. A cerâmica vermelha inclui utensílios de uso doméstico como painéis, travessas e talhas, incluem objetos de adornos como vasos, floreiras e etc. A indústria cerâmica faz parte do conjunto de cadeias produtivas do complexo da construção civil.

## **METODOLOGIA**

Foram verificados valores referentes à granulometria do PFP e da argila de acordo com a NBR 7181 (1984) da ABNT, realizado no Laboratório de Solos e Geotecnia da UFPE. A composição química do PFP sob a forma de óxidos foi determinada pela fluorescência de raios X, no laboratório NEG-LABISE da UFPE.

As matérias-primas argila e PFP foram elaboradas em percentuais de peso. As massas foram submetidas a etapas de homogeneização. A conformação dos corpos-de-prova dos diversos tipos de massas cerâmicas com dimensão padrão de 6,0cm x 2,0cm x 0,5cm, sob uma pressão de 200 kgf/cm<sup>2</sup> (19,6 MPa), (figura 1(D)) foi realizada através de prensa hidráulica, de marca Testop Ronald-topcom capacidade de 10 toneladas (figura 1(A)). Os corpos de prova ficaram em temperatura ambiente por 24 horas para secar e, em seguida, para a retirada do excesso da umidade, permaneceram em estufa a 110°C, durante 24h. As temperaturas de queima adotadas foram de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C, em forno elétrico Tipo Mufla, da Heraeus Instruments, modelo M104, 1000°C, (figura 1(B) e (C)), com taxa de aquecimento de 5°C/min e patamar de queima de 3 horas e resfriamento lento dentro da mufla. A formulação

das massas cerâmicas de argila misturadas ao PFP em peso foram de argila(100%); argila (90%)/PFP (10%); argila (60%)/PFP (40%).

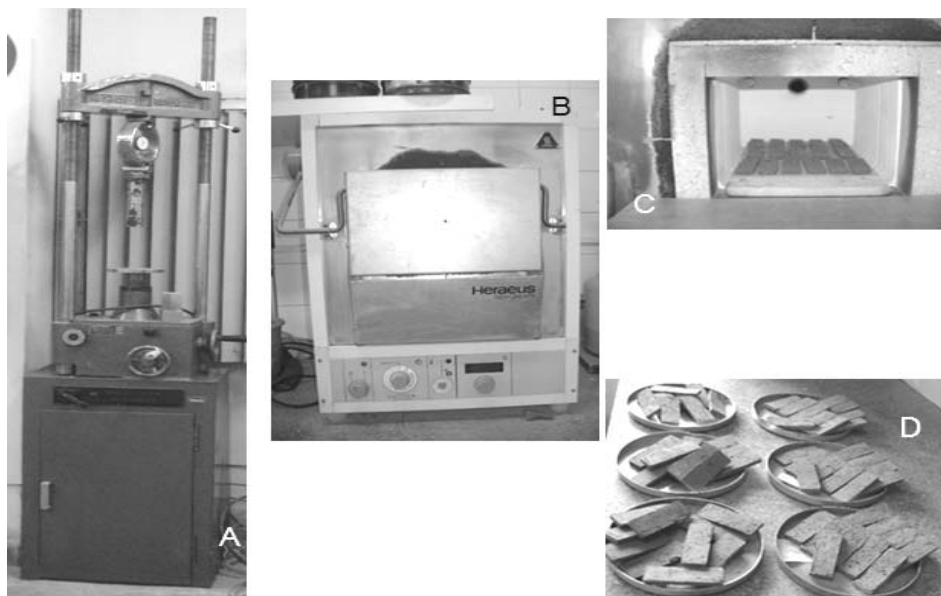


Figura 1 - (A) Prensa de compressão; (B) Mufla Heraeus Instruments modelo M104; (C) Detalhe no interior da mufla; (D) Diferentes massas cerâmicas.

### Ensaio tecnológicos cerâmicos

Os ensaios cerâmicos visam verificar e definir a aplicação industrial de acordo com o desempenho tecnológico das propriedades físicas da matéria prima.

#### Limites de Atterberg

A determinação do limite de liquidez (LL), teor de umidade que separa o estado de consistência líquido do estado plástico, e no qual o solo apresenta pequena resistência ao cisalhamento, foi idealizada por Arthur Casagrande. O limite de liquidez (LL) de todas as massas cerâmicas formuladas foi obtido com o uso do aparelho de Casagrande, através da NBR 6459 (1984) da ABNT. O limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro a cerca de 10 cm de comprimento. A determinação dos Limites de Plasticidade baseou-se na norma NBR 7180 (1984) da ABNT.

#### Determinação da cor de secagem e de queima

Para uma eficiente determinação de cor de queima dos corpos de prova às várias temperaturas, apenas a visão não é eficiente: foi utilizado, então, o catálogo de cores de Munsell. Foram avaliadas as cores dos diferentes tipos de massas cerâmicas depois da queima às temperaturas de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C.

#### Perda ao fogo (PF)

A avaliação da perda ao fogo objetiva a determinação do percentual de material volátil como a água e matéria orgânica, perdida durante a queima de material cerâmico. É feita através da pesagem (g) dos corpos-de-prova secos em estufa, a 100°C ( $M_s$ ) e após a queima ( $M_q$ ), nas várias temperaturas. Os resultados são obtidos aplicando-se a equação:

$$PF = [(M_s - M_q) / M_q] \times 100 \quad (a)$$

### Absorção de água (AA)

Este parâmetro foi determinado conforme a NBR 13818 (1997). Os corpos de prova, de massa  $M_1$ , são imersos em água destilada, sem estarem em contato entre si, de maneira que o nível da água esteja 5cm acima das placas. A água é aquecida até fervura e mantida em ebulição durante 2 horas; o nível de água deve ser mantido constante durante todo o ensaio. Os corpos-de-prova são colocados sob circulação de água à temperatura ambiente para que entrem em equilíbrio. São suavemente enxutos com uma flanela ligeiramente úmida e, imediatamente após esse processo, são pesados, sendo obtido a massa úmida ( $M_2$ ) do material. A absorção de água (AA) é obtida pela equação abaixo:

$$AA (\%) = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad (b)$$

### Porosidade aparente (PA)

A determinação da porosidade aparente dos corpos de prova após a queima às várias temperaturas é obtida a partir de diferentes pesagens: ao ar, do corpo de prova seco ( $M_s$ ) e saturado ( $M_u$ ); e  $M_i$ , do corpo de prova submerso. O valor da porosidade aparente é obtido por meio da equação (e):

$$PA (\%) = [(M_u - M_s) / (M_u - M_i)] \times 100 \quad (c)$$

### Massa específica aparente dos corpos-de-prova (MEA)

A massa específica aparente (MEA) é obtida a partir da razão entre a massa do corpo-de-prova seco e seu volume ou ainda a razão entre a massa seca ( $M_q$ ) e a diferença entre a massa saturada ( $M_u$ ) e a massa do corpo-de-prova imerso em água ( $M_i$ ) as massas são expressas em gramas e os valores de MEA são obtidos em  $g/cm^3$  e aplicou-se a equação:

$$MEA = M_q / (M_u - M_i) \quad (d)$$

### Módulo de Ruptura a Flexão (MRF)

Para a determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão (MRF), é necessário a remoção de quaisquer partículas soltas aderidas ao corpo-de-prova. As amostras são secas em estufa a temperatura de  $110^\circ C$  ( $\pm 5^\circ C$ ) até atingir massa constante, deixando esfriar dentro da estufa ou no dessecador até a temperatura ambiente.

Os corpos-de-prova devem ser ensaiados até 26 horas depois do início do aquecimento, desde que estejam com a massa constante o que foi feito conforme a NBR 13818 (1997) ABNT, anexo C, com o uso de um deflectômetro. A ruptura à flexão foi realizada na velocidade de 0,5mm/min em uma máquina de ensaio Emic DL munida de uma célula de medida de carga com capacidade de 1.000 KN. e com 2,00mm de distância entre os pontos de apoio (L). O cálculo da tensão de ruptura ( $\sigma_R$ ) foi calculada a partir da equação:

$$\sigma_R = (3F_f L) / (2b \cdot d^2) \quad (e)$$

Onde:

$F_f$  - é a carga no momento da ruptura;

L - é a distância entre os pontos de suporte; b - base do corpo-de-prova e

d - é a altura do corpo-de-prova.

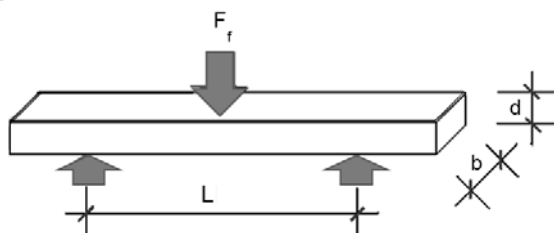


Figura 2 - Esquema do corpo-de-prova para a ruptura a flexão em três pontos

## RESULTADOS

### Os Materiais

Os materiais foram analisados para determinação da compatibilidade granulométrica do PFP com a da argila, matéria-prima doada por indústria de cerâmica vermelha, localizada no Município de Pau'dalho – PE. A curva do PFP, nas frações areia fina e silte, é mais fina que a argila. O silte é a fração granulométrica mais representativa do PFP. No que concerne à fração granulométrica argila, o pó fino é mais grosso que o material argílico. A determinação do diâmetro efetivo  $d_{ef}$  é por isso importante. O diâmetro efetivo é o diâmetro correspondente a 10% em peso total das partículas menores que ele, segundo Caputo. Ele denota o grau de finura do material. O  $d_{ef}$  do pó fino de polimento é 0,0012 mm (1,2  $\mu$ m), valor que indica que o material é muito fino. Para a argila, entretanto, a determinação deste parâmetro foi prejudicada por problemas operacionais: sendo este um material muito fino, 30% de suas partículas apresentando diâmetro equivalente menor que 1,2  $\mu$ m. Portanto, considerando a tendência da curva da argila, acredita-se que o  $d_{ef}$  seria menor que o  $\mu$ m. Isto mostra a extrema finura desta argila. Registra-se também o valor de 8,92, para o coeficiente de não uniformidade (CNU,  $d_{60}/d_{10}$ ) para a curva do PFP, que indica uniformidade média para os grãos, ou seja, existem grãos de vários diâmetros distribuídos nas diferentes frações granulométricas dos pós. O CNU das argilas não foi definido por conta da indeterminação do  $d_{ef}$ .

A análise química indica que a composição do PFP tem elevado teores de  $SiO_2$  oriundo de rochas silicáticas (tabela 1). Valores percentuais dos óxidos do PFP são semelhantes ao da argila. O óxido de alumínio tem propriedades refratárias e ajuda na não deformação de peças cerâmicas moldadas. O óxido de potássio é fundente igual ao MgO e ao CaO. Teores de silicato de Ca e de Mg contribuem com o controle de retração do produto cerâmico. Outros metais fundentes mostram-se em menores teores nas amostras como BaO e SrO. Óxido de ferro torna a cerâmica vermelha após a queima. O TiO, conferi a cor vermelha à massa depois da queima e apresenta propriedades vitrificantes.

Tabela 1 - Composição química do pó fino de polimento (PFP) e da argila.

Composto Químico	PFP %	Argila %	Composto Químico	PFP %	Argila %
$SiO_2$	65,30	69,00	$TiO_2$	0,67	1,02
$Al_2O_3$	16,00	15,60	$P_2O_5$	0,15	0,04
$K_2O$	5,60	2,21	$MnO$	0,08	1,13
$Fe_2O_3T$	4,38	5,56	$Rb_2O$	0,03	0,01
$Na_2O$	2,79	3,89	$SrO$	0,06	0,04
$MgO$	2,53	0,85	$BaO$	0,15	0,11
$CaO$	2,26	1,45			
p.f.	0,28	0,09			
<b>Total</b>	<b>100,30</b>				



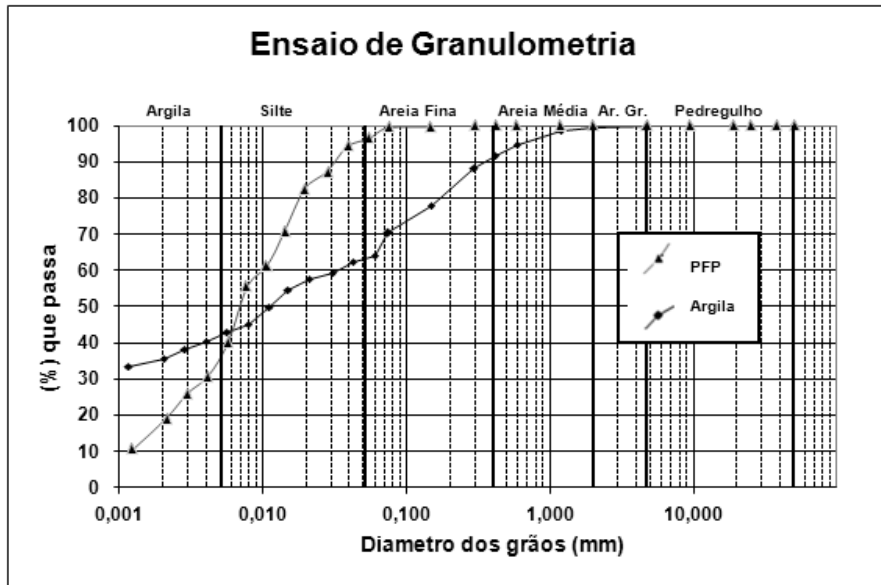


Figura 3 - Curva granulométrica da argila e do rejeito industrial PFP.

## DISCUSSÃO

Conforme a classificação de Jenkins, a argila e as massas cerâmicas compostas de 10% e 40% de PFP são de alta plasticidade. O PFP não registra capacidade para ser moldado, entretanto sua introdução é fundamental para a diminuição da retração linear de queima e de secagem das peças conformadas, além de aumentar a plasticidade da massa cerâmica uma propriedade requerida para a etapa de conformação de peças cerâmicas. O PFP não tem capacidade de reter água, portando não pode fornecer dados de limites de liquidez. A densidade das massas compostas de argila e PFP nos percentuais de 10% e 40% foram determinadas com o uso do picnômetro e se caracterizam por registrar valores crescentes conforme o aumento de PFP nas massas cerâmicas. As cores de secagem da argila e das massas cerâmicas se caracterizam por apresentar uma variedade de cinza, sendo a cor cinza mais clara para a massa composta de argila/40%PFP sob a análise óptica. A adição de 40%PFP combinado a cerâmica resulta em uma menor retração linear dos corpos cerâmico a seco.

Tabela 2 - Determinação de parâmetros físicos dos materiais e das massas cerâmicas.

Análises	Argila	PFP	Massa (10% PFP)	Massa (40% PFP)
Densidade Média (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,59	2,64	2,70
Limite de Liquidez (LL) (%)	42,01	NL	38,48	40,29
Limite de Plasticidade (LP) (%)	17,62	NP	17,26	21,91

(NP)\*Não para plasticidade; (NL)\* Não para liquidez; (nd)\* não determinado.

A argila registrou, após a queima em temperatura de 700°C, sua maior massa específica aparente justificando porosidade e absorção de água (AA) elevadas, em temperatura de 700°C. A massa específica aparente (MEA) da argila decresce conforme o aumento de temperatura de queima. A massa cerâmica composta de argila/10%PFP registrou massa específica aparente menor em temperaturas acima de 700°C, um fato verificado também com o aumento de PFP em massas cerâmica composta de argila/40%PFP.

**Tabela 3** - Análises das cores de cerâmica vermelha em variadas temperaturas.

Material	Análises	Verde	700°C	800°C	850°C	900°C	950°C	1.000°C
Argila	cor de queima	5Y 4/1	5YR 4/4	5YR 4/4	5YR 5/6	10R 4/6	10R 4/6	10R 6/6
Argila/10% PFP	cor de queima	10YR 4/2	5YR 4/4	5YR 4/4	5YR 5/6	10 R 4/6	5YR 5/6	10R 4/6
Argila/40% PFP	cor de queima	5Y 6/1	10YR 5/4	5YR 5/6	5YR 5/6	5YR 5/6	5YR 5/6	10YR 5/4

Legenda: Pale yellowish Brown 10YR 6/2; Dark Yellowish Brown 10YR 4/2; Moderate Yellowish brown 10YR 5/4; Moderate Reddish orange 10R 6/6; Moderate reddish brown 10R 4/6; Pale reddish brown 10R 5/4; Light Brown 5YR 6/4; Light Brown 5YR 5/6; Yellowish Gray 5YR 8/1; Moderate Brown 5YR 4/4; Light olive Gray 5Y 6/1; Olive Gray 5Y 4/1.

A cor de queima da argila se caracteriza por apresentar a cor vermelha. Conforme o aumento de temperatura, o fato é verificado com tonalidades de vermelho mais intenso. A variação de cor também é observada nas massas cerâmicas compostas de 10% PFP e 40% PFP. Esta última massa registra variações da cor vermelha mais clara do que a argila e devido à influência da maior percentual de PFP combinado à argila.

A queima da argila a 1.000°C elevou a absorção de água (AA), devido ao fissuramento do corpo-de-prova quando submetidos às altas temperaturas. Em temperatura de 850°C a massa cerâmica composta de argila/10% PFP tem sua capacidade de absorção de água (AA) elevada superando a absorção de água da mesma massa em outras temperaturas, justificada pela presença de fissuramento da massa resultando em uma diferença de 2,02 entre a porosidade registrada em temperatura de 700°C e 850°C

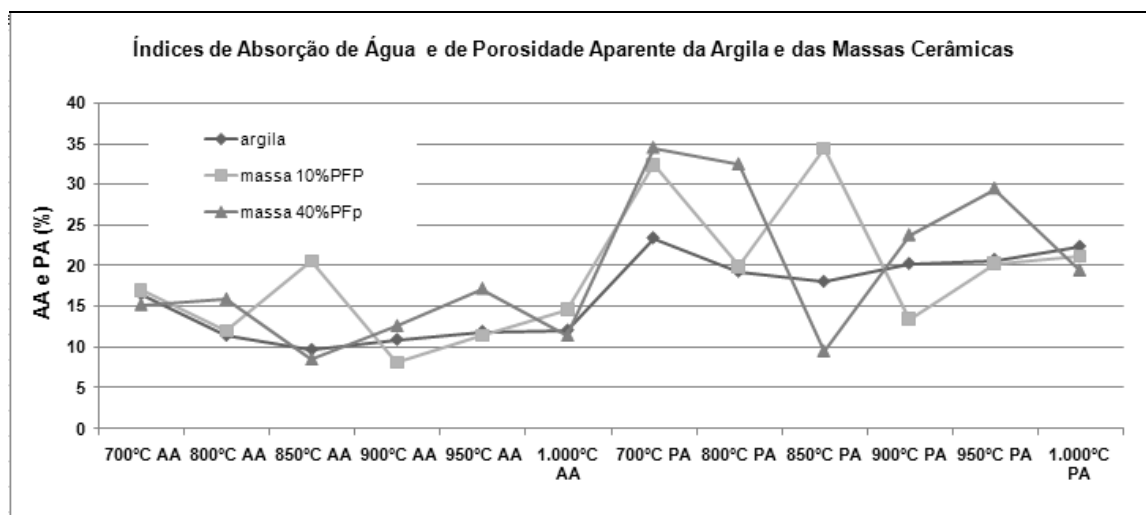


Figura 4 - Índices físicos da argila e das massas cerâmicas em diversas temperaturas.

A argila e as massas cerâmicas compostas de argila/10%PFP e argila/40%PFP caracterizam-se por apresentarem propriedades de AA dentro do limite admissível de 20,2%, conforme Souza Santos (1975). A massa composta de 10%PFP se caracteriza por apresentar significativa redução de absorção de água (AA) entre as temperaturas de 700°C e 800°C, enquanto, que o aumento de PFP resultou em baixa absorção de água, embora registre uma alta porosidade, mas estes poros não se apresentam interligados.

Quando submetido a esforço mecânico, a argila e as massas cerâmicas registraram um significativo aumento de resistência mecânica de ruptura à flexão (MRF) em três pontos, conforme o aumento de temperatura. A temperatura de 700°C não é considerada de queima para cerâmica

vermelha, sua determinação, entretanto, objetivou a análise de resultados a serem comparados com aqueles fornecidos pelos corpos-de-prova submetidos em temperatura de cerâmica vermelha (800°C e 900°C).

A argila quando composta com PFP na condição de massa cerâmica registra módulo de resistência a flexão menor do que a resistência da argila sem adições, (figura 5). O aumento de PFP compondo a massa argila/40%PFP e argila/10%PFP registrou resistência estabilizada entre as temperaturas de 900°C a 1.000°C, sendo, a resistência registrada pela massa cerâmica composta de menos percentual de PFP. A massa composta de 40%PFP registra um maior ganho de resistência significativa entre as temperaturas de 700°C a 850°C para a massa composta de 40%PFP.

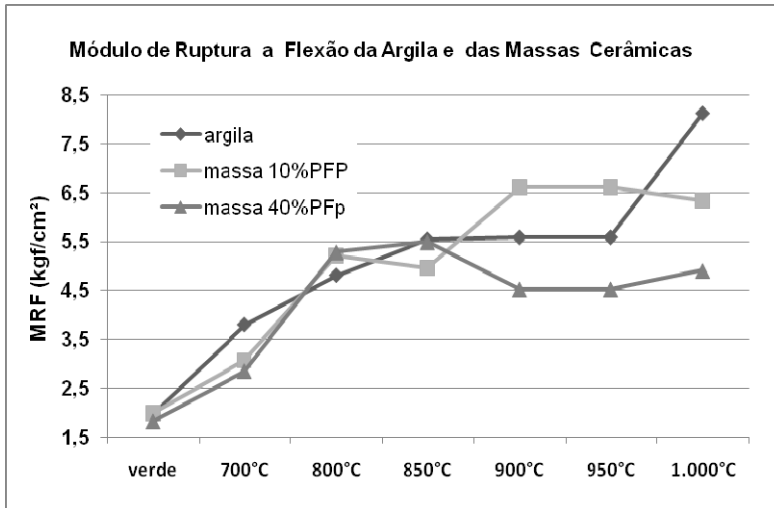


Figura 5 - Resistência à flexão em tres pontos da argila e das massas cerâmicas.

Não é recomendada a queima de material cerâmico vermelho como telhas, ladrilhos de piso, tijolos furados e tijolos de alvenaria em temperatura de 950°C quando estes corpos cerâmicos são conformados por pressão, Souza Santos (1975). As temperaturas de 950°C e de 1.000°C foram efetuadas para a verificação de comparação dos resultados tecnológicos obtidos com as temperaturas de cerâmica vermelha. A massa cerâmica argila/10%PFP registrou um aumento de resistência mecânica.

A perda ao fogo das massas cerâmicas registraram uma maior perda ao fogo entre as temperaturas de 800°C e 950°C devido a influencia de minerais compostos de OH contido no pó de rocha, (figura 6). O PFP é um rejeito fino sólido composto de minerais de rochas silicáticas e carbonáticas. A argila e as massas cerâmicas tendem a diminuir a perda ao fogo em temperatura de 1.000°C.

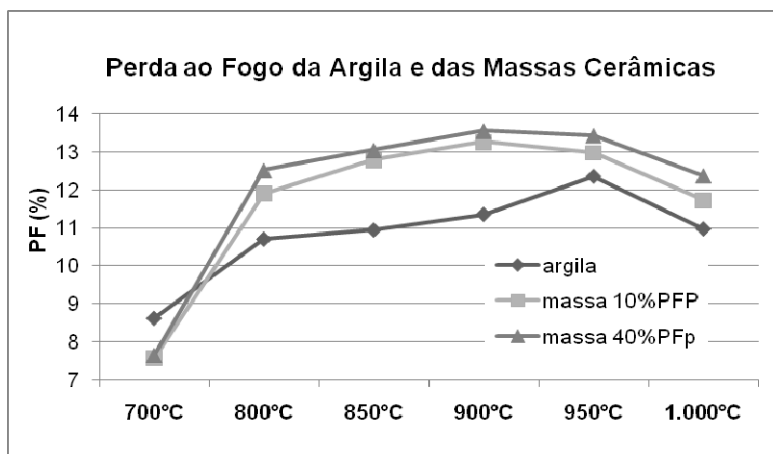


Figura 6 - Perda ao fogo da argila e das massas cerâmicas em várias temperaturas de queima.

## CONCLUSÃO

O PFP é um rejeito sólido industrial de uniformidade média para os grãos, ou seja, existem grãos de vários diâmetros distribuídos nas diferentes frações granulométricas. A argila mostra-se mais fina do que o PFP. A adição de PFP combinado a uma argila plástica não causa dano ao LP da argila, melhorando a trabalhabilidade da massa cerâmica a ser extrudada para a conformação das peças cerâmicas. A composição química do PFP é compatível com a da argila. Valores de MEA da argila diminui com o aumento de temperatura. A adição de PFP compondo as massas cerâmicas não caracteriza a diminuição de MEA conforme ocorra o aumento de temperatura.

Os valores de absorção de água da argila e das massas cerâmicas compostas se caracterizam por registrarem percentuais menores de 20,2% em temperatura abaixo de 950°C, conforme o valor admitido para queima em temperaturas de 950°C, segundo Souza (1975).

O aumento de percentual de PFP (40%), na massa cerâmica, não se traduz por aumento na resistência a ruptura à flexão, quando os corpos de prova são submetidos a altas temperaturas. O PFP pode conter, na sua composição, carbeto de silício, oriundo dos cabeçotes de polimento, que começa a expandir quando ocorre aumento de temperatura. À temperatura de 1.000°C, a expansão do carbeto de silício, com conseqüente aumento de porosidade, é verificada pela diminuição da resistência de ruptura à flexão em três pontos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO Mineral Brasileiro (2003/2004). DNPN/MM, Brasília.
- ALMEIDA, S. L.M & SAMPAIO, J. A. (2002) Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreira. Revista Areia & Brita, Out./Dez.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. Rochas Ornamentais no século XXI – Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Coordenador: Peiter *et. al.* Rio de Janeiro/ABIROCHAS. 2001, 160p.
- \_\_\_\_\_. - Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no 1º quadrimestre de 2006 b. Disponível em: <www.abirochas.com.br> Acesso em 08/08/06.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 6459.. Solos – Determinação do limete de liquides, Rio de Janeiro, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7180.. Solos - Determinação do limete da plasticidade, Rio de Janeiro 3p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7181.. Solos – Análise granulométrica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 13818 Placas cerâmicas para revestimento . Especificação e Métodos de Ensaio – Módulo de Resistência à Flexão – (Anexo C).
- SOUZA SANTOS, P.; SANTINI, P. Análises térmicas diferenciais de bauxitos, argilas aluminosas e lateritos. *Cerâmica*, v.9, n.323, p. 3-32, 1963.
- SEBRAE Minas, (2005-2007),
- SUMÁRIO Mineral (2004). DNP/MME, Brasília.
- SILVA. J. B, HOTZA, D., SEGADÃES, A. M. e ACCHAR, W. , Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. *Cerâmica*, oct./ dec. Vol. 51, no.320, p.325 – 330. ISSN 0366-6913, 2005
- SOUZA, Júlio César de. Cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais. In: Anais Vº Simpósio de Rochas Ornamentais no Nordeste. 13 a 15 de novembro., Recife, 2005 p. 193-203.
- SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. v. 1, p. 3-4, 157-67.
- GONÇALVES . P. S. ; VANDERLINE . F. V. F. ; Tecnologia cerâmica. Apostila SENAI Mário Amato- Núcleo Cerâmica. 2003.
- GRANDI. A..RENÓ. R. Revestimento de Cerâmica . In: XXXIII Congresso Brasileiro de Cerâmica. maio 1989. Serra Negra .

# Normalização em rochas ornamentais: análise da situação brasileira atual x tendências internacionais

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá<sup>1</sup>

## RESUMO

*A maior importância da normalização reside em possibilitar a caracterização dos mais diversos materiais de acordo com procedimentos preestabelecidos, propiciando a efetiva comparação entre produtos semelhantes e sua adequada comercialização. É interessante notar que da mesma forma que atua na qualificação de produtos e materiais também pode se constituir em barreira não tarifária, especialmente no comércio exterior. Neste artigo são apresentadas e discutidas as diferentes abordagens das principais entidades normalizadoras para rochas para revestimento, mais especificamente a normativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) comparativamente com as da América do Norte, American Society for Testing and Materials (ASTM) e da Europa, European Committee for Standardization (CEN).*

## INTRODUÇÃO

Em rochas ornamentais, até recentemente, a normativa se restringia à proposição de procedimentos de ensaios e de especificações, a fim de determinar as propriedades petrográficas, físicas e mecânicas de rochas visando sua aplicação na construção civil, como revestimento de edificações (Frascá, 2007).

Enfatiza-se que a caracterização tecnológica de rochas para revestimento é imprescindível para o correto dimensionamento das peças pétreas que irão compor uma edificação, com crescente necessidade de maior variedade e quantidade de ensaios conforme o vulto da obra e conseqüente demanda de segurança e durabilidade.

Além dos métodos de ensaio, o Comitê Europeu de Normalização (CEN) vem elaborando várias normas, em vigor desde 2008, que estabelecem requisitos dimensionais e tecnológicos para a produção de materiais pétreos (blocos, chapas, placas, telhas, ladrilhos e outros) destinados à construção civil e para sua comercialização na comunidade européia, que também são válidos para os produtos importados.

Neste trabalho são apresentadas as principais características das normas nacionais e internacionais adotadas no Brasil, basicamente da ABNT, ASTM e CEN, enfocando as diferentes abordagens de cada entidade normalizadora.

## NORMALIZAÇÃO

Segundo a ABNT ([www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br), consulta em out.2010), a normalização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto.

---

<sup>1</sup> Geóloga, Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC / Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).  
mheloisa@ipt.br

Constituem os seus principais objetivos:

- Economia: proporcionar a redução da crescente variedade de produtos e procedimentos.
- Comunicação: proporcionar meios mais eficientes na troca de informação entre o fabricante e o cliente, melhorando a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.
- Segurança: proteger a vida humana e a saúde
- Proteção do Consumidor: prover a sociedade de meios eficazes para aferir a qualidade dos produtos.
- Eliminação de Barreiras Técnicas e Comerciais: Evitar a existência de regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços em diferentes países, facilitando assim, o intercâmbio comercial

E ainda, segundo a ABNT, é um excelente argumento para vendas ao mercado internacional como, também, para regular a importação de produtos que não estejam em conformidade com as normas do país importador.

Neste aspecto é importante ressaltar que também pode atuar como barreira técnica ou não tarifária para importação e comercialização nos vários territórios, que está acontecendo atualmente na comunidade europeia relativamente às telhas de ardósias brasileiras.

### **NORMATIVA BRASILEIRA**

A elaboração de normas para rochas para revestimento é realizada pela Comissão de Estudo de Revestimento com Pedras (CE-02:002:45), no âmbito do Comitê Brasileiro de Construção Civil - CB-02, da ABNT, relacionado, na categoria de membro observador, à ISO/TC 05, atuante na normalização no campo da construção civil. Compreende componentes, elementos, produtos, serviços, planejamento, projeto, execução, armazenamento, operação, uso e manutenção, e abrange, além das pedras naturais, os setores de cerâmica vermelha e para revestimento; argamassa; pisos; gesso para construção civil; e inúmeros outros.

No ano de 2010, após relativamente longa revisão e reformulação das normas vigentes desde 1992, foi publicado novo conjunto de normas aplicáveis a praticamente todos os materiais pétreos para revestimento, à exceção de ardósias, contendo terminologia, especificação para granitos, métodos de ensaios e diretrizes para revestimento de fachadas com placas de rochas fixadas por insertos metálicos (Tabela 1)

Em síntese, no Brasil atualmente se dispõe basicamente de normas de procedimentos de ensaios, acompanhadas de glossário de termos técnicos relativos ao tema e por relação de valores típicos (“requisitos”) usualmente apresentados por rochas graníticas, estes com o intuito de auxiliar, por comparação, os consumidores no entendimento do material comercializado. Ressalta-s que estes requisitos não foram propostos para qualificar a rocha, mas sim para servir como elemento auxiliar na seleção de materiais pétreos para determinada obra.

Tabela 1 – Quadro normativo brasileiro atual.

Norma	Título
ABNT NBR 15012:2003	Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia
ABNT NBR 15844:2010	Rochas para revestimento - Requisitos para granitos
ABNT NBR 15845:2010	Rochas para revestimento - Métodos de ensaio
	Anexo A: Análise petrográfica
	Anexo B: Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água
	Anexo C: Coeficiente de dilatação térmica linear
	Anexo D: Resistência ao congelamento e degelo
	Anexo E: Resistência à compressão uniaxial
	Anexo F: Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)
	Anexo G: Flexão por carregamento em quatro pontos
ABNT NBR 15846:2010	Rochas para revestimento - Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos
	Anexo A: Projeto de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos
	Anexo B: Execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos

### NORMATIVA INTERNACIONAL

Como já mencionado, os principais organismos internacionais relativamente à normalização de rochas ornamentais são ASTM e CEN.

Suas principais características distintivas podem ser assim sintetizadas:

- ASTM: **foco no usuário**, ou seja, visa principalmente a orientação na escolha da rocha e na manutenção.
- CEN: **foco na produção**, ou seja, visa a garantia da qualidade e do fornecimento do material escolhido em obras.

### NORMALIZAÇÃO AMERICANA

A ASTM ([www.astm.org](http://www.astm.org)) dispõe de três tipos principais de normas: métodos de ensaio, especificações e de diretrizes/orientações para seleção, manutenção e conservação de rochas ornamentais, elaboradas pelo Comitê Técnico C18, que possui seis subcomitês:

- C18.01 - *Test methods* (Métodos de ensaios)
- C18.03 - *Material specifications* (Especificações de materiais)
- C18.06 - *Attachment components and systems* (Componentes e sistemas de fixação)
- C18.07 - *Environmental properties, behavior, and cleaning* (Propriedades ambientais e limpeza)
- C18.08 - *Selection of dimension stone* (Seleção de rochas ornamentais)
- C18.91 - *Nomenclature and definitions* (Nomenclatura e definições)



Dentre os métodos de ensaio (Tabela 2), três normas são destinadas especificamente para a caracterização tecnológica de ardósias, material não contemplado pela ABNT. No geral, compreende duas normas para determinação da resistência à abrasão e de módulo de elasticidade na flexão, as quais não constam na normativa brasileira de “revestimento com pedras”, que por sua vez contém normas para determinação do coeficiente de dilatação térmica linear, congelamento e degelo e de resistência ao impacto.

**Tabela 2** – Quadro normativo americano – métodos de ensaio para rochas naturais<sup>2</sup> e ardósias.

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>C119</b>	<i>standard terminology relating to dimension stone</i>
<b>Rochas Naturais</b>	
<b>C97/C97M</b>	<i>absorption and bulk specific gravity of dimension stone</i>
<b>C99/C99M</b>	<i>modulus of rupture of dimension stone</i>
<b>C170/C170M</b>	<i>compressive strength of dimension stone</i>
<b>C241/C241M</b>	<i>abrasion resistance of stone subjected to foot traffic</i>
<b>C1352/C1352M</b>	<i>flexural modulus of elasticity of dimension stone</i>
<b>C1353</b>	<i>abrasion resistance of dimension stone subjected to foot traffic using a rotary platform, double-head abramer</i>
<b>C880/C880M</b>	<i>flexural strength of dimension stone</i>
<b>C1721</b>	<i>guide for petrographic examination of dimension stone</i>
<b>Ardósias</b>	
<b>C120/C120M</b>	<i>flexure testing of slate (breaking load, modulus of rupture, modulus of elasticity)</i>
<b>C121/C121M</b>	<i>water absorption of slate</i>
<b>C217/C217M</b>	<i>weather resistance of slate</i>

Nota: a letra M significa que os valores estão apresentados segundo sistema internacional (SI)

A relativa abundância de “especificações” (Tabela 3), como já mencionado, reflete a preocupação com o usuário, no fornecimento de parâmetros que auxiliem a tomada de decisão pelo uso de um ou outro material rochoso, bem como na orientação de projetistas para o correto dimensionamento de peças, caso as propriedades do material especificado sejam distintas daqueles usualmente exibidos por aquele tipo de rocha.

**Tabela 3** – Quadro normativo americano – especificações.

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>C503</b>	<i>standard specification for marble dimension stone</i>
<b>C568</b>	<i>standard specification for limestone dimension stone</i>
<b>C615</b>	<i>standard specification for granite dimension stone</i>
<b>C616</b>	<i>standard specification for quartz-based dimension stone</i>
<b>C1526</b>	<i>standard specification for serpentine dimension stone</i>
<b>C1527</b>	<i>standard specification for travertine dimension stone</i>
<b>C406</b>	<i>standard specification for roofing slate</i>
<b>C629</b>	<i>standard specification for slate dimension stone</i>

As diversas normas exibidas na Tabela 4 enfatizam a preocupação com a seleção, fixação e adequada manutenção de placas pétreas dos diferentes tipos de revestimentos, principalmente de fachadas.

<sup>2</sup> Rocha natural é um termo usado internacionalmente, especialmente na Europa, para designar uma porção de rocha que ocorre naturalmente.

**Tabela 4** – Quadro normativo americano – seleção, desempenho e manutenção.

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>C1201/C1201M</b>	<i>structural performance of exterior dimension stone cladding systems by uniform static air pressure difference</i>
<b>C1242</b>	<i>guide for selection, design, and installation of dimension stone anchoring systems</i>
<b>C1354/C1354M</b>	<i>standard test method for strength of individual stone anchorages in dimension stone</i>
<b>C1496</b>	<i>guide for assessment and maintenance of exterior dimension stone masonry walls and facades</i>
<b>C1515</b>	<i>cleaning of exterior dimension stone, vertical and horizontal surfaces, new or existing</i>
<b>C1528</b>	<i>guide for selection of dimension stone for exterior use</i>

### **NORMALIZAÇÃO EUROPEIA**

No Comitê Europeu de Normalização (CEN) (<http://www.cen.eu>), as rochas ornamentais são objeto de estudo de dois comitês técnicos, sendo as rochas naturais objeto do Comitê Técnico 246 e as ardósias, do Comitê Técnico 128, que elaboraram várias normas harmonizadas<sup>3</sup>, exibidas a seguir.

É uma normativa bastante nova, criada juntamente com a criação da Comunidade Económica Europeia, quando foi estabelecido que as normas existentes nos diferentes países fossem unificadas a fim de constituírem critérios únicos e comuns para a livre comercialização. Os produtos de construção são tratados na Diretiva 89/106/EEC de Produtos de Construção (Construction Products Directive) que foi complementada pela emenda Diretiva 93/68/EEC, que discorre sobre as condições para a marcação CE (“CE Marking”), que por sua vez se tornou mandatória a partir de maio de 2008 (Blasi *et al.* 2008).

Para a obtenção da marcação CE, e conseqüentemente afixação nos produtos comercializados, é necessário cumprir os requisitos contidos nas normas europeias, que abrangem as seguintes etapas:

Realização de teste-tipo inicial (initial type test), ou seja, a caracterização inicial da rocha a ser comercializada. O teste tipo se fundamenta na avaliação do produto em relação a um conjunto de ensaios, cujos resultados não podem ser antecipados com base em testes prévios, pois são realizados no início da operação de uma nova mina ou jazida de rocha ornamental; ou quando ocorre mudança imprevista da geologia da rocha.

As características requisitadas podem ser divididas em dois grupos:

- tecnológicas: determinação de parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos que definem as propriedades da rocha (Tabela 5)

<sup>3</sup> Norma harmonizada: é uma especificação técnica (norma europeia ou documento harmonizado) adotada por uma ou mais entidades normalizadoras, por meio de um mandato fornecido pela Comissão Europeia, de acordo com as prescrições do Conselho Diretivo (Council Directive) 83/189/EEC de 28/03/1983, que dispõe sobre os procedimentos para o provimento de informações no campo das normas e regulações técnicas.

TABELA 5 – Quadro normativo da comunidade europeia – terminologia e métodos de ensaio.

Norma	Título
EN 12440	<i>Natural stone. Denomination criteria</i>
EN 12670	<i>Natural stone. Terminology</i>
EN 13373	<i>Natural stone test methods. Determination of geometric characteristics on units</i>
EN 1925	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity</i>
EN 1926	<i>Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength</i>
EN 1936	<i>Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity</i>
EN 12372	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under concentrated load</i>
EN 12407	<i>Natural stone test methods. Petrographic examination</i>
EN 13161	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under constant moment</i>
EN 13364	<i>Natural stone test methods. Determination of the breaking load at dowel hole</i>
EN 13755	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure</i>
EN 14146	<i>Natural stone test methods. Determination of the dynamic elastic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)</i>
EN 14157	<i>Natural stone test methods. Determination of abrasion resistance</i>
EN 14158	<i>Natural stone test methods. Determination of rupture energy</i>
EN 14205	<i>Natural stone test methods. Determination of Knoop hardness</i>
EN 14231	<i>Natural stone test methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester</i>
EN 14579	<i>Natural stone test methods. Determination of sound speed propagation</i>
EN 14580	<i>Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus</i>
EN 14581	<i>Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient</i>

- **do produto:** determinação de parâmetros dimensionais (espessura, comprimento e largura) e geométricos (retilinearidade de bordas, retangularidade e planicidade) e tecnológicos que caracterizam o material a ser comercializado, que se encontram inseridos nas normas intituladas “requisitos” (Tabela 6).
- Estabelecimento do atestado de conformidade, por meio da documentação das principais características do material (tecnológicas e dimensionais) comprovando que estão conforme as propriedades requisitadas para o uso previsto, conforme as normas apresentadas na Tabela 6.
- Introdução do Controle de Produção de Fábrica (FPC), por meio de documentação que permita estabelecer e realizar o controle da rotina de produção, a rastreabilidade e outros quesitos relativos a sistema de qualidade, do tipo ISO 9001.

Uma vez cumpridas estas etapas, pode ser elaborado o Atestado de Conformidade, que é feito pelo fabricante com base nos resultados do teste tipo inicial e no controle de produção de fábrica (FPC) realizado pelo próprio fabricante e sob sua responsabilidade.

Uma vez em conformidade com as condições estabelecidas nas normas, o fabricante ou seu agente estabelecido na Área Econômica Européia (EEA) deve preparar e reter a Declaração de Conformidade (EC Declaration of Conformity) que, por sua vez, autoriza a fixação da Marca CE.

**Tabela 6** – Quadro normativo da comunidade européia – requisitos.

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>Rochas naturais</b>	
<b>EN 1341</b>	<i>Slabs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
<b>EN 1342</b>	<i>Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
<b>EN 1343</b>	<i>Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
<b>EN 1467</b>	<i>Natural stone. Rough blocks. Requirements</i>
<b>EN 1468</b>	<i>Natural stone test methods. Rough slabs. Requirements</i>
<b>EN 1469</b>	<i>Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements</i>
<b>Ardósias</b>	
<b>EN 12326-1</b>	<i>Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding. Product specification</i>
<b>EN 12326-2</b>	<i>Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding. Methods of test</i>

A CEN é a entidade que disponibiliza o maior número de normas de ensaios de envelhecimento ou de alteração acelerada (Tabela 7), destinadas a estudos específicos, principalmente para a seleção de rochas a serem usadas nas situações simuladas em cada uma delas. Deve ser ressaltado que os resultados destes ensaios não constituem parâmetros tecnológicos ou requisitos exigidos para qualificação das rochas aos usos que constam da Tabela 6.

**Tabela 7** – Quadro normativo da comunidade européia – ensaios de envelhecimento acelerado.

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>EN 12370</b>	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallization</i>
<b>EN 12371</b>	<i>Natural stone test methods. Determination of frost resistance</i>
<b>EN 13919</b>	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by SO action in the presence of humidity</i>
<b>EN 14066</b>	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by thermal shock</i>
<b>EN 14147</b>	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by salt mist</i>

## CONSIDERAÇÕES E DISCUSSÕES

A recente atualização do quadro normativo nacional, mais completo que o anterior, mas ainda longe do rol de opções dos americano e europeu, enseja um momento especial para o setor de rochas ornamentais (técnico-científico e comercial), pois permite uma reflexão sobre os passos futuros.

A indiscutível vocação exportadora do setor brasileiro de rochas ornamentais tem sido fator preponderante para o privilégio de normas de ensaio sobre as demais.

No entanto, a exportação de produtos acabados e semi-acabados para os EUA e Europa e o crescente consumo doméstico ao lado da importação de materiais pétreos, especialmente mármore e calcários para acabamentos de interiores, ensejam novas demandas que requerem urgentes definições para a continuidade dos trabalhos de normalização.

Em síntese:

- É necessária uma avaliação “organizada” das demandas, ofertas e tendências do setor.
- É necessário também definir qual mercado é prioritário: o doméstico ou o internacional? Ou os dois?
- Também é necessário e urgente o treinamento e formação de mão-de-obra especializada em ensaios laboratoriais.
- É urgente a inclusão das ardósias na normativa brasileira.
- Por fim, é de primordial importância o engajamento de técnicos, pesquisadores, produtores e consumidores, para que as deficiências a serem apontadas e as decisões a serem tomadas sejam rapidamente implementadas de forma que competitividade do setor, nacional e internacionalmente, não venha a ser afetada.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Blasi, P.; Morandini, A. F.; Miramonti, C. 2008. The European standardization and the CE marking in the field of stone construction products. In: *International Congress on Dimension Stone, 2*, 2008. Proceedings ... Carrara: IMM Carrara/Abirochas. 277-283.
- Frasca, M.H.B.O. 2007. Rocha como material de construção. In: Isaia, G. (ed). *Materiais de Construção e princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 437-479

# Aplicação de resíduos oriundos do corte de mármore na matriz do polipropileno

Larissa Ribeiro de Souza<sup>1</sup>; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro<sup>1</sup>;  
Regina Coeli Casseres Carrisso<sup>1</sup>

## RESUMO

*Com o intuito de equacionar o contínuo desenvolvimento do setor de rochas ornamentais e sua crescente geração de resíduos desenvolveu-se um material constituído por polipropileno e resíduos de mármore. Constatou-se que houve uma distribuição homogênea das partículas de mármore, ocorreu um aumento na resistência ao impacto proporcional ao teor de resíduo, os compósitos são hidrofóbicos e a degradação dos mesmos ocorre a 450°C. Certificou-se que o material com 60% de resíduo possui a maior capacidade de armazenar energia sob variação térmica e a temperatura de fusão dos compósitos aumentou de acordo com o teor de resíduo. Ficou estabelecido que o resíduo de mármore fornece tanto estabilidade térmica quanto mecânica ao compósito.*

## INTRODUÇÃO

A produção mundial de rochas para ornamentação e revestimento atinge a ordem de 92,7Mt/ano. A China, Índia, Itália, Brasil, Irã, Turquia e Espanha, despontam respectivamente como os principais produtores e expressivos exportadores mundiais. Na produção nacional, os estados do Espírito Santo e Minas Gerais respondem por 70% a 75% dessa produção, respectivamente. O consumo aparente de 5,582 milhões de toneladas de rochas no Brasil, estimado em 2007, foi estimulado pelo expressivo crescimento do setor da construção civil, pela redução de taxas de juros e crescimento da oferta de crédito imobiliário (DNPM, 2009).

Esse crescimento vem acompanhado de uma enorme quantidade de resíduos gerados pela extração e estão contribuindo com diversos impactos ambientais, como o assoreamento de rios e a inutilização de terrenos, afetando gravemente a flora e a fauna das regiões.

## MÁRMORE

Os mármore são rochas metamórficas constituídas principalmente por calcita e/ou dolomita. No entanto, comercialmente, são entendidos como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar (calcários e dolomitos), como metamórfica (FERREIRA & NUNES, 2007).

Segundo um estudo de Cid Chiodi feito em 2008, o mármore participou com 19% do consumo interno aparente brasileiro de rochas ornamentais. Ficando atrás somente do granito, o qual tem a parcela de 50% do total do consumo interno.

A escolha do mármore como objeto de estudo, baseou-se na escala de produção e no volume de resíduos gerados. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral, no ano de 2007, a produção brasileira total de rochas ornamentais e de revestimento foi de 7.971.000 toneladas. Considera-se que 30% dessa quantidade finaliza-se em forma de resíduo, ou seja, só

---

<sup>1</sup> Bolsista de Iniciação Científica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/COPPE/DMM,  
lrsouza@metalmat.ufrj.br

no ano de 2008 foram geradas 2.391.300 toneladas de resíduos aproximadamente. É urgente o desenvolvimento de um plano que viabilize a coerência entre a produção de rochas ornamentais e os impactos causados na natureza.

### POLIPROPILENO

Foi escolhido o polipropileno para fazer parte do compósito, pois de acordo com a CMAI (2009), o PP é um dos plásticos de menores custos do mercado, como pode se verificar na Figura 1. Além de possuir boas características para fazer parte de um compósito como fácil usinagem, regular resistência ao atrito, boa estabilidade térmica, alta resistência ao entalhe, o mais leve dos plásticos, baixa absorção de umidade e significativa resistência ao impacto (VICK, 2009).

### Cargas em Polímeros

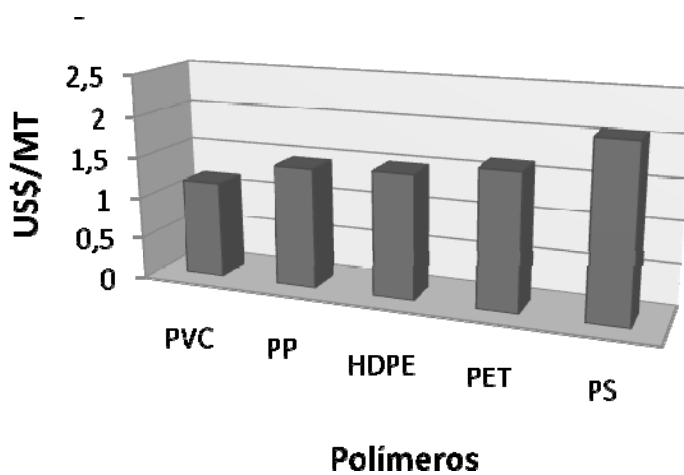


Figura 1 - Preços dos polímeros do ano de 2009 (Fonte: CMAI, 2009)

Segundo Rabello (2000), com a crise do petróleo nos anos 60 e 70 os materiais poliméricos atingiram preços exorbitantes. Para reduzir um pouco os custos de fabricação, os fabricantes de peças adotaram um procedimento antigo como meio de viabilização econômica: o uso de cargas minerais de baixo custo como aditivos em plásticos e borrachas com fins não reforçantes. A necessidade despertou um maior interesse pelo uso técnico de cargas, levando a grandes desenvolvimentos nesta área, de modo que hoje as cargas se constituem no aditivo mais empregado (em termos percentuais de consumo) nos plásticos. Dentre as cargas utilizadas encontram-se: o calcário (calcita, dolomita), o filito, a mica (muscovita, flogopita, biotita), sílica (quartzo, zeólita), talco, pirofilita (agalmatolito), gesso, barita, wolastonita, esmectita (bentonita, montmorilonita, hectorita, saponita) e ilita. A visão de servir apenas como enchimento ficou ultrapassada, pela possibilidade de grandes alterações nas propriedades dos materiais caso sejam adicionadas cargas corretas em concentrações apropriadas.

As cargas minerais têm sido utilizadas em misturas com os mais variados tipos de polímeros, misturas estas, chamadas de compósitos, com a finalidade de barateamento de custos e, mais particularmente, porque agregam melhorias das características físicas e químicas das peças fabricadas.

As indústrias químicas fabricantes de polímeros têm procurado desenvolver novos tipos de polímeros. A disputa torna-se acirrada pelo grande mercado consumidor que existe. As empresas tentam, então, atender as mais diversas necessidades de tipos e características físicas e

químicas dos materiais e peças fabricados pelas indústrias consumidoras. No Brasil as cargas minerais ainda são utilizadas pelas indústrias, na sua maioria, em misturas com os polímeros.

O entendimento das propriedades intrínsecas das cargas minerais e dos polímeros, da influência da tensão superficial na interação entre eles, o desenvolvimento de novos equipamentos de medida da tensão superficial, o desenvolvimento de agentes de tratamento superficial visando melhorar a compatibilidade de energia entre a carga mineral e o polímero, tudo isso tem contribuído para uma melhor compreensão e previsão das propriedades de compósitos e nanocompósitos. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas nesta direção, cujo intuito principal é o de comparar o efeito do uso, em polímeros, de cargas minerais diversas, tratadas e não tratadas superficialmente com agentes químicos como silanos e ácidos graxos. As características físicas e químicas dos produtos destas misturas, como alongamento, tensão de ruptura, deformações ao calor, etc, são medidas e definidas, constatando-se modificações nestas propriedades quando comparadas com as mesmas propriedades para os polímeros puros (LIMA, 2007).

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada e foram encontrados alguns trabalhos nessa área.

Tawfik e Eskander, por exemplo, desenvolveram um concreto polimérico constituído por mármore e politereftalato de etileno (PET) reciclado. Eles investigaram a resistência a ataques químicos desse compósito e comprovaram uma ótima resistência a uma solução com 20%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Juntamente, por meio de ensaios, observaram que o compósito com PET reciclado possui maior elasticidade quando comparado ao compósito com PET virgem.

Hristova, Valeva e Ivanova desenvolveram um compósito feito de poliéster (PE) e mármore. Eles verificaram que conforme aumenta a quantidade de carga mineral aumenta a resistência a deformação elástica do compósito.

## **OBJETIVO**

Caracterizar morfológicamente, mecanicamente e termicamente compósitos formados por polipropileno e resíduos de mármore.

## **EXPERIMENTAL**

### **Origem dos Materiais**

O termoplástico polipropileno, tipo 0810, de índice de fluidez 12,0 g/10 min (2,16 Kg/230°C) e densidade de 0,903 g/cm<sup>3</sup> foi gentilmente fornecido pela empresa Ipiranga Petroquímica S.A.

O resíduo utilizado possui granulometria inferior a 0,037 mm e é oriundo de uma serraria da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, estado do Espírito Santo.

### **Sintetização**

As condições iniciais para a extrusão dos compósitos, podem ser encontradas em Souza *et al* (2008).

No presente trabalho, foram estudados compósitos com teores de 0 a 70% em massa de resíduos de mármore. Utilizou-se a nomenclatura “PPM + teor de mármore” para distinguir cada compósito. Os compósitos também foram pigmentados com sais inorgânicos para facilitar sua identificação.

### **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

As morfologias foram estudadas pelo microscópio da marca LEO modelo S440, com aceleração de voltagem de 20 KV. Os compósitos foram revestidos por uma camada nanométrica de prata,



limpos com jatos de ar e suas seções transversais foram analisadas com ampliações de 2500 e 5000 vezes o seu tamanho.

Foram também analisados os compósitos pós-ensaio de impacto Izod, realizado em Souza *et al* (2008), para se observar possível desprendimento de partículas. As amostras foram metalizadas com ouro sob plasma de argônio. O microscópio eletrônico utilizado foi da marca FEI, modelo QUANTA 400 e voltagem de 20 KV.

### **Ensaio de Impacto Izod a 23°C**

Foram entalhados 10 corpos-de-prova de cada composição e a partir da mediana dos resultados de energia cinética absorvida, obteve-se o módulo de impacto de cada compósito. O ensaio foi realizado em um equipamento da marca Ceast, modelo Resil Impactor Das 4000, seguindo a norma ASTM D256, utilizando um martelo de 2J.

### **Ângulo de Contato**

Para verificar a hidrofobicidade, foram feitas 30 medidas do ângulo de contato, cada qual com um intervalo de 15 segundos da anterior, nos compósitos com 0, 20, 40 e 60% de resíduos de mármore. As medidas registradas são as médias do ângulo de contato de cada lado da gota d'água, a qual com 0,2 microlitros de volume. O goniômetro utilizado é da marca Ramé-Hart Instrument Co., modelo 500-F1.

### **Análises Termodiferencial (ATD) e Termogravimétrica (ATG)**

O comportamento térmico dos materiais foi analisado pelo equipamento da TA Instruments, modelo DSC 2920. As análises de ATD e ATG foram feitas simultaneamente. As amostras, que pesavam entre 5 e 8 mg, foram postas em um cadinho de platina. A amostra de referência foi a alumina ( $Al_2O_3$ ). Analisou-se o comportamento térmico dos compósitos no intervalo de temperatura de 0 a 800°C a 10°C/min, sob uma atmosfera de nitrogênio com uma vazão de 110 mL/min.

### **Análise Dinâmico-Mecânica (DMA)**

A análise de DMA verifica o comportamento mecânico do material sob uma variação de temperatura. O ensaio foi executado no modo flexão, sob uma atmosfera de nitrogênio. As amostras pesavam em torno de 5 mg. Inicialmente, as amostras ficaram por 1 minuto sob a temperatura de -25°C, em seguida, sofreram um aquecimento até 160°C, a 3°C/min. O equipamento empregado é da marca PerkinElmer Instruments, modelo DMA 7e (*Dynamic Mechanical Analyser*).

### **Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)**

Por esse ensaio, foi possível obter as temperaturas de fusão dos compósitos. O equipamento utilizado foi da marca Perkin Elmer Instruments, modelo Pyris Diamond DSC. O cadinho era de alumínio. Seguiu-se o seguinte procedimento:

Primeiro aquecimento (lento)

-80 a 220°C a 10°C/min

Primeiro resfriamento (rápido)

220 a -80°C a 200°C/min

Segundo aquecimento (lento)

-80 a 220°C a 10°C/min

Segundo resfriamento (lento)

220 a -80°C a 10°C/min

Terceiro aquecimento (lento)

-80 a 220°C a 10°C/min

Terceiro Resfriamento (lento)

220 a -80°C a 10°C/min

## RESULTADOS

### Processamento dos Compósitos

A Figura 2 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 60% em massa de resíduo, indicado pela fita verde clara. A tentativa de utilização de 70% em massa de resíduo na matriz do PP não foi realizada com sucesso, pois a extrusão desse compósito não permitiu a obtenção de uma fita com perfil homogêneo, limitando o teor de resíduo em 60% em massa. Isso se explica pelo alto teor de carga na matriz polimérica que dificultou o processamento do referido compósito.



**Figura 2** - Corpos-de-prova (fitas) ordenados segundo sua composição de resíduo de mármore.

### Análise Morfológica

Os pontos brilhantes da Figura 3 e os pontos pequenos esbranquiçados das outras figuras são os poros de ar, formados durante o processamento das fitas na extrusora. Analisando o conjunto das quatro fotos, percebe-se que não houve um aumento de poros com o aumento de carga mineral na matriz polimérica.

As micrografias dos compósitos, com porcentagem de mármore, demonstram variados tamanhos de partículas minerais. A explicação para as partículas maiores de 35  $\mu\text{m}$ , pode ser um furo na peneira de 400 mesh utilizada no beneficiamento do mármore.

Observa-se que as partículas de mármore se distribuíram uniformemente no compósito, com ausência de agregações.

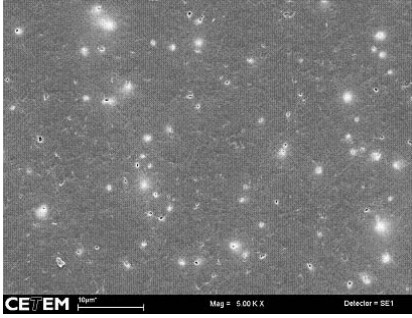


Figura 3 - PPM0 (5000X)

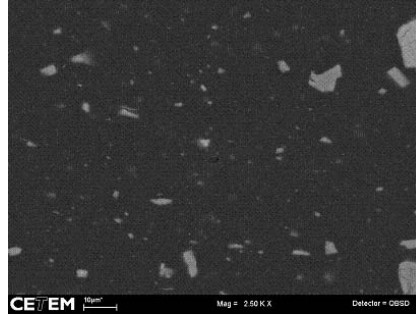


Figura 4 - PPM20 (2500X)

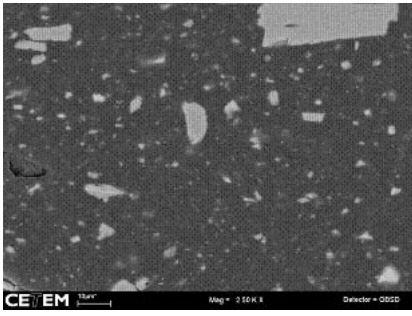


Figura 5 - PPM40 (2500X)

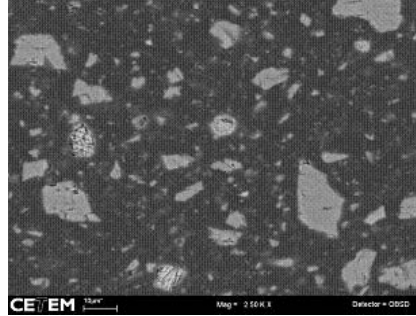


Figura 6 - PPM60 (2500X)

### Ensaio de Impacto Izod a 23°C

Os resultados de resistência ao Impacto Izod à 23°C foram bastante satisfatórios, indicados pela Figura 7. O resultado mais considerável foi obtido com 50% de resíduo, o qual apresentou um aumento de mais de 300% na resistência ao impacto comparado ao PP puro. As análises de MEV estão de acordo com as elevadas resistências ao impacto. A adequada dispersão do resíduo de mármore na matriz polimérica, proporcionou uma boa interação entre as partículas de mármore e as cadeias de hidrocarbonetos. Baseando-se nesses resultados e em alguns artigos encontrados na literatura, como o trabalho de LING et al (2002), pode-se estabelecer que o resíduo de mármore se torna um escudo contra a propagação da quebra do composto.

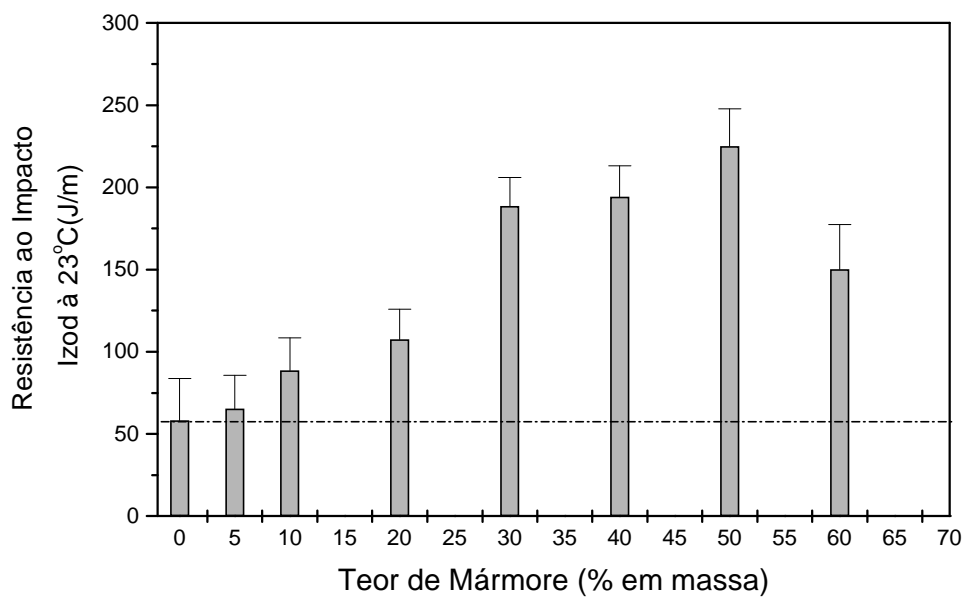


Figura 7 - Resistência ao Impacto Izod a 23 °C versus teor de resíduo de mármore.

### Análise Morfológica Pós-Ensaio de Impacto Izod

A Figura 8 comprova a literatura estabelece (Callister, 2008), pela rugosidade da superfície, observa-se que ocorreu deformação elástica e plástica no polipropileno. Ou seja, ocorreu um alongamento das cadeias moleculares em regiões amorfas na direção da tensão de tração aplicada e em seguida, as cadeias adjacentes deslizaram uma em relação às outras.

Nas três figuras seguintes, apresentam-se vários buracos originados do desprendimento das partículas de mármore pós-“ataque” do pêndulo Izod. No entanto, a presença de partículas de mármore é maior do que o número de buracos, indicando boa interação entre o resíduo e o polímero. Essa satisfatória interação explica os bons resultados de resistência aos ensaios de flexão e impacto Izod, realizados em Souza *et al.* (2008).

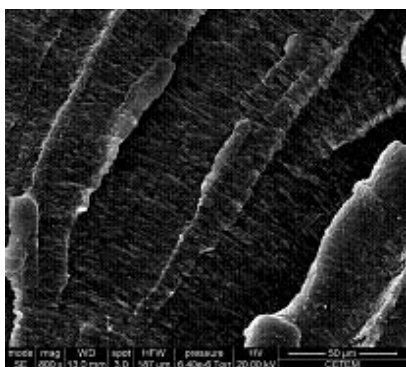


Figura 8 - PPM0 (800 X)

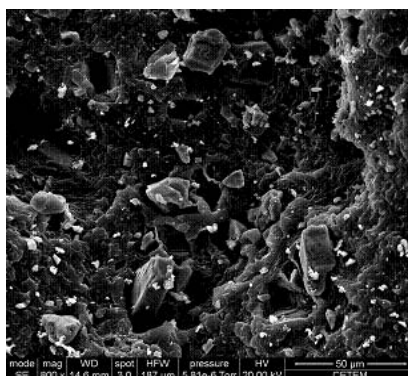


Figura 9 - PPM20 (800 X)

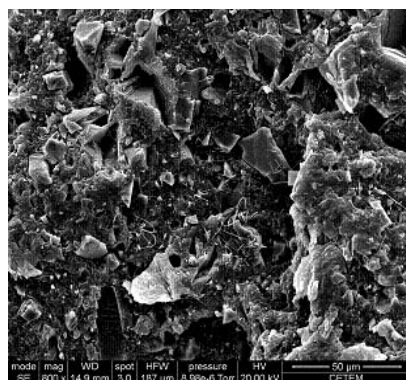


Figura 10 - PPM40 (800 X)

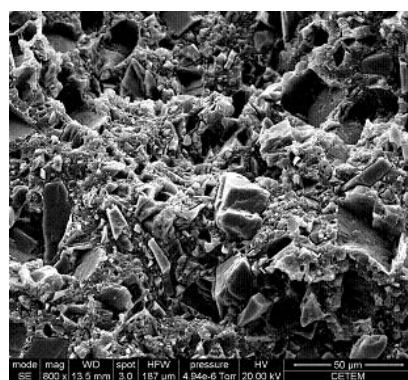


Figura 11 - PPM60 (800 X)

### Ângulo de Contato

O polipropileno é um polímero hidrofóbico, repele a água, e o mármore é um mineral hidrofílico, ou seja, possui afinidade com a água. A união desses dois materiais criou superfícies hidrofóbicas. Os ângulos a partir dos quais as superfícies são consideradas hidrofóbicas variam segundo diversos autores. Van Oss & Geisel (1995), Santos (2005) e Valcarte *et al.* (2002) consideram hidrofóbicas superfícies com ângulos de contato  $\theta > 50^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $65^\circ$ , respectivamente. Os compósitos de resíduos de mármore e polipropileno apresentam comportamento hidrofóbico por qualquer um dos critérios citados anteriormente. Todos mantiveram seus ângulos de contato com a gota d'água (Figura 12) superior a média de hidrofobicidade levantada pelos autores, mesmo depois de um determinado tempo de exposição, como mostra a Figura 13.

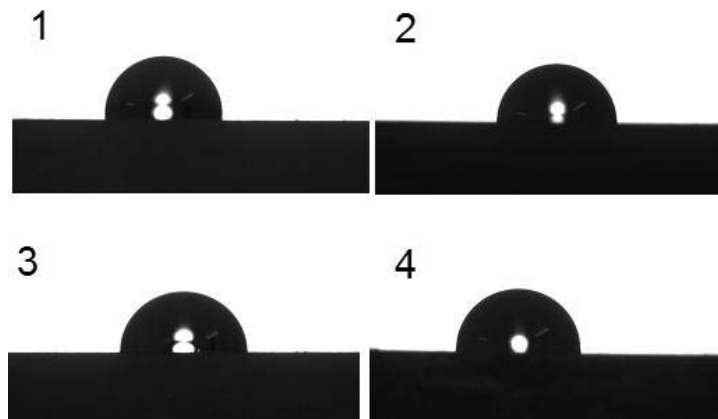


Figura 12 - Cinética de molhabilidade dos compósitos com 0, 20, 40 e 60% de resíduo de mármore.

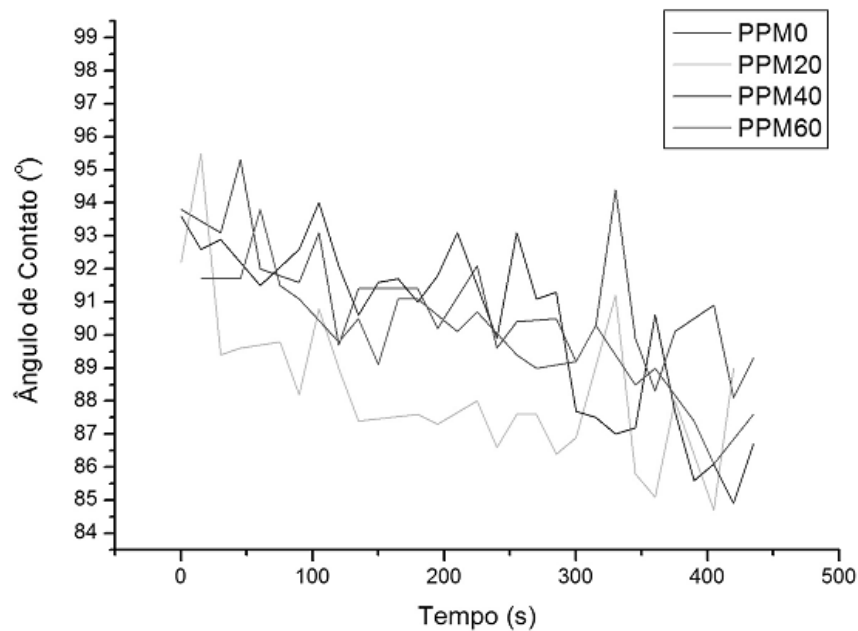


Figura 13 - Cinética de molhabilidade dos compósitos com 0, 20, 40 e 60% de resíduo de mármore.

### Análise Termogravimétrica (ATG)

Por meio do gráfico de ATG (Figura 14), verifica-se que a temperatura de degradação dos compósitos inicia-se a 350°C aproximadamente. Comparando a curva do PPM0 com os outros compósitos, percebe-se que a carga mineral não exerce influência sob a temperatura de degradação do material, pois a mesma se manteve constante com o aumento de resíduo.

Segundo Visco *et al.* 2008), a degradação do mármore ocorre por volta de 700°C. O que explica a resultante das massas entre 500 e 600°C nas curvas de ATG ser equivalente ao teor de mármore presente no compósito.

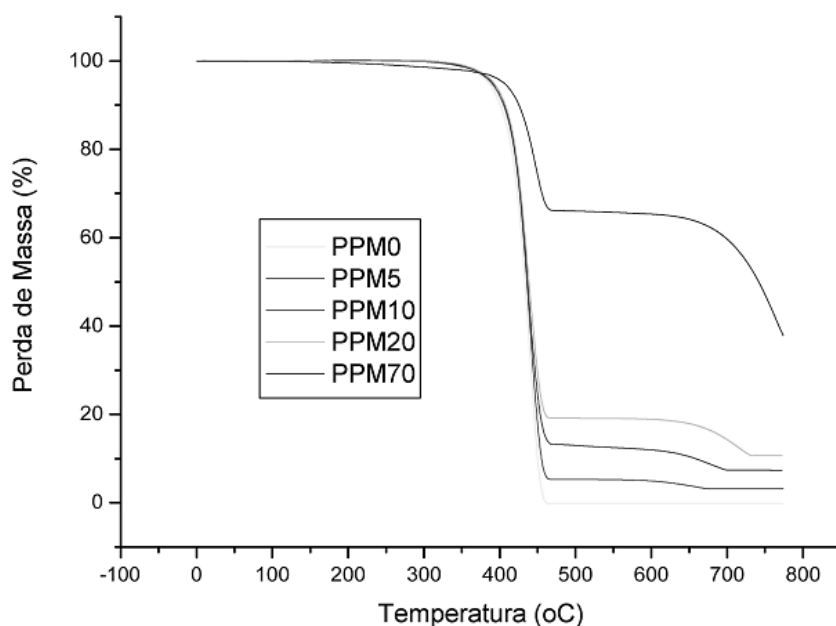


Figura 14 - Curvas termogravimétricas dos compósitos com 0, 5, 10, 20 e 70% de mármore.

Analisando Figura 15, que representa a curva da derivada da ATG (DTG). Por meio desta, é possível obter a temperatura para a velocidade máxima de degradação dos compósitos. Observa-se que a velocidade máxima de degradação do PPM70 procede a 446°C, enquanto que para o PPM0 ocorre a 436°C. Pode-se concluir que o resíduo aumenta a estabilidade térmica do material. Esses resultados estão de acordo com o trabalho de Dubkinova et al (2008) e as análises de MEV.

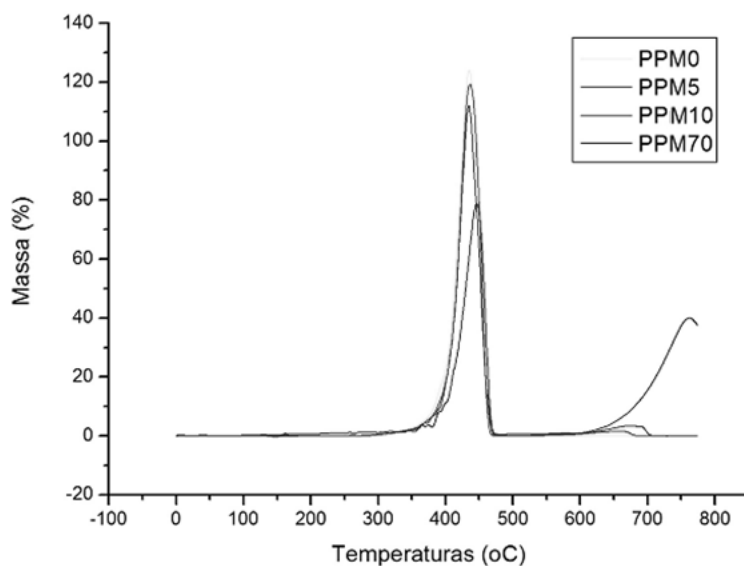


Figura 15 - Derivada da ATG (DTG) dos compósitos com 0, 5, 10, 20 e 70% de mármore.

### Análise Dinâmico-Mecânica (DMA)

A DMA (Figura 16) revelou que as temperaturas de fusão não variaram significativamente entre os compósitos. No entanto, constatou-se que o PPM60 é o compósito com maior capacidade de absorção de energia. Concordando com os resultados de resistência ao impacto, vistos anteriormente. Não houve diferença entre as capacidade de absorver energia dos demais compósitos. Faz-se uma necessidade de realizar mais análises e trazer resultados estatísticos, para comprovação desses dados.

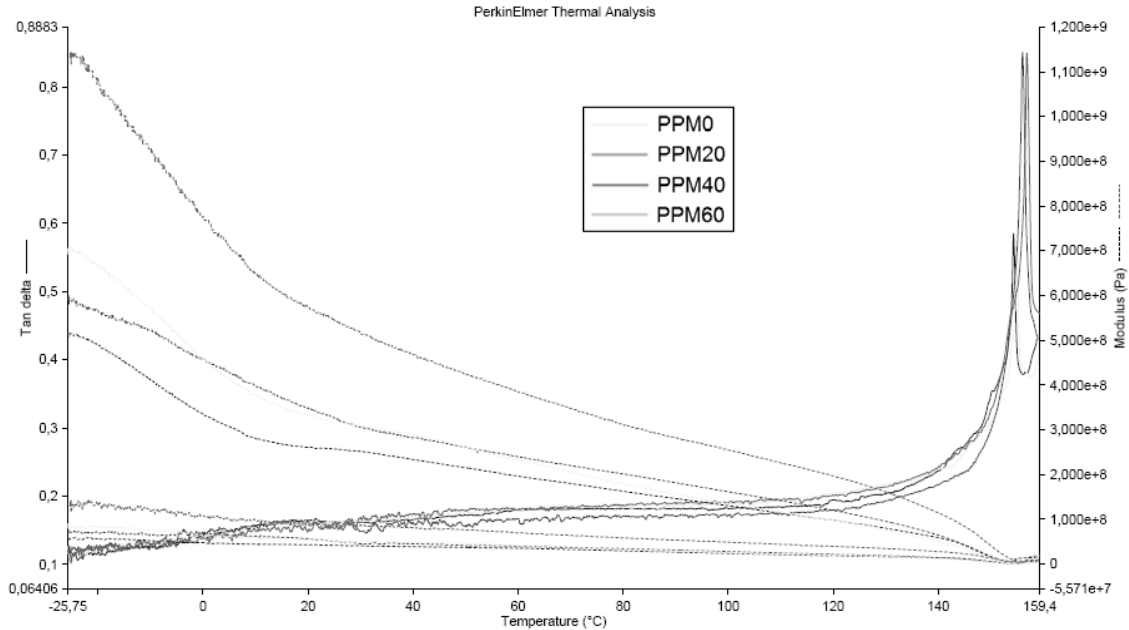


Figura 16 - Curvas de DMA dos compósitos com 0, 20, 40 e 60% de mármore.

### Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

A temperatura de cristalização aumentou de 115,23°C (PPM0) para 129,05°C (PPM60). Essa diferença de mais de 10°C, significa que durante o resfriamento, apesar do compósito se encontrar em uma temperatura elevada (129,05°C), o que aumenta a mobilidade das cadeias de hidrocarbonetos, sua cristalização foi promovida. Esse fato sugere que as partículas de mármore exercem efeito nucleante durante a cristalização do polipropileno, Dubnikova et al e Weon & Sue tiveram conclusões semelhantes. Ou seja, proporcionam um aumento no número de cadeias de hidrocarbonetos do polipropileno organizadas regularmente. Isso corrobora as elevadas resistências mecânicas, comprovadas pelo ensaio de impacto. Houve um aumento na temperatura de fusão, indicando que as partículas minerais além de representarem estabilidade mecânica, também promovem uma maior estabilidade térmica para o compósito. As temperaturas citadas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperaturas de fusão dos compósitos

Compósitos	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)
PPM0	115,23	160,09
PPM20	122,72	162,18
PPM40	122,95	162,82
PPM60	129,05	162,97

## CONCLUSÕES

As partículas de resíduos de mármore se distribuíram uniformemente na matriz do polipropileno. Não houve formação de agregados. Os compósitos possuem uma elevada resistência ao impacto. Existe uma forte interação e uma ótima adesão entre as moléculas dos dois materiais. Os compósitos são hidrofóbicos. Até 350°C, os compósitos são resistentes, a partir dessa temperatura ocorrem suas degradações, a aproximadamente 450°C. Durante o resfriamento, a temperatura de cristalização aumentou, proporcionalmente, ao teor de resíduo no compósito, o que sugere que as partículas de mármore contribuem para a estabilidade mecânica do material. A temperatura de fusão aumentou de acordo com o teor de resíduo no compósito, sugerindo que as partículas de mármore promovem também a estabilidade térmica do compósito.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro. Ao CETEM pela infra-estrutura fornecida. À pesquisadora Léa Lopes (IMA-UFRJ), ao doutorando Jeremias Macedo (PEMM-UFRJ), às professoras Elizabete Lucas (IMA-UFRJ) e Verônica Maria de Araújo Calado (EQ-UFRJ), ao pesquisador Otávio Gomes (CETEM) e aos técnicos Rosana Gouvêa Maurício (EQ-UFRJ) e Luiz Carlos de Lima (CETEM).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia: ASMT, 1993.
- CALLISTER, W.D.J. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 7 ed. RJ, BRASIL: LTC, 2008, 398p.
- CHIODI, C.F. Balanço no Setor de Rochas Ornamentais em 2007. Texto elaborado para a ABIROCHAS – Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais. Belo Horizonte, 2008.
- CHEMICAL MARKET ASSOCIATES, INC. Market Report: Issue 137, Global Plastics & Polymers Market Advisory Service, Minnesota, EUA, 2009.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral Brasileiro 2008: Rochas Ornamentais e de Revestimento. Brasília, DF, Jan. 2009. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>>. Acesso em: 27 jun. 2009.
- DUBNIKOVA, I.L., NIZHEGORODTSEVA, E.I., LOMAKIN S. M., KRASHENINNIKOV V. G., GORENBERG, A. YA. & KULEZNEV, V. N. Preparation and Characteristics of Composites Based on Polypropylene and Ultradispersed Calcium Carbonate. Polymer Science, ser.A, v.50, no12, p.1214–1225, 2008.
- FERREIRA, A. C. B. & NUNCES, E. C. D., Reaproveitamento e Incorporação de Resíduo de Mármore em Poliamida 66, Revista Eletrônica. São Bernardo do Campo, SP. Disponível em: <<http://revistaeletronica.sp.senai.br/index.php/seer/article/viewFile/89/50>>. Acesso em: 2 out. 2009.
- LIMA, A. B. T. Aplicações de Cargas Mineraias em Polímeros. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, (Dissertação de Mestrado), 2007.
- LING, Z., ZHENGHUA, W., RUI, H., LIANGBIN, L. & XINYUAN, Z. PP/elastomer/calcium carbonate composites:effect of elastomer and calcium carbonate contents on the deformation and impact behavior. Journal Of Materials Science, v.37, p.2615 – 2621, 2002.
- RABELLO, M. Aditivacão de Polímeros. Editora Artliber. São Paulo, 2000.



- SANTOS, S.F. Análise de filmes poliméricos densos de ACC/PHANMCL por técnicas de DSC, DMA, XPS, ângulo de contato e AFM. Dissertação de M.Sc. em Física, PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- SOUZA, L.R., RIBEIRO, R.C.C. & CARRISSO, R.C.C. Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica. In: XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.
- VALCARTE, M.B., BUSALMEN, J.P. & SÁNCHEZ, S.R. The influence of the surface condition on the adhesion of *pseudomonas fluorescens* (ATTCC 17552) to copper and aluminium brass. *Internacional Journal of Biodeterioration & Biodegradation*, v. 50, n. 1, pp. 61-66, 2002.
- VAN OSS, C.J. & GIESE, R.F. Hydrophilicity and hydrophobicity of clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, v. 43, n. 4, pp. 474-477, 1995.
- VICK, Comércio de Plásticos e Isolantes Ltda. Plásticos de Engenharia – Polipropileno. Disponível em: <[www.vick.com.br/vick/produtos/polipropileno/polipropileno.htm](http://www.vick.com.br/vick/produtos/polipropileno/polipropileno.htm)> . Acesso em: 7 de ago. De 2009.
- VISCO, G., GREGORI E., TOMASSETTI M. & CAMPANELLA L. Probably counterfeit in Roman Imperial Age: Pattern recognition helps diagnostic performed with inductive coupled plasma spectrometry and thermogravimetry analysis of torso and a head of Roman Age marble statue. *Microchemical Journal*, v.88, p.210-217, 2008.
- WEON, J.I. & SUE, H.J. Mechanical properties of talc and CaCO<sub>3</sub> reinforced high crystallinity polypropylene composites. *Journal of Materials Science*, v.41, p.2291-2300, 2006.

# Estudo da influência mineralógica e dos componentes da argamassa na fixação de alguns “granitos”

*Lizandra Nogami<sup>1</sup>; Antenor Braga Paraguassú<sup>2</sup>; José Eduardo Rodrigues<sup>3</sup>*

## RESUMO

*No presente trabalho, foram feitos ensaios de aderência em placas de diferentes tipos de “granitos” comerciais, com uma argamassa colante para porcelanatos (desenvolvida em laboratório) e outra industrializada. Os ensaios foram realizados tanto na face rugosa quanto na polida para verificar as influências da rugosidade e da mineralogia. Os valores mostraram uma relação direta da adesão com o aumento da rugosidade e inversa com o aumento do teor de quartzo. Para confirmar a influência da mineralogia, foram realizados ensaios com monocristais de feldspato e quartzo. Os resultados mostraram que a aderência do quartzo é menor que a do feldspato, em aproximadamente 50%.*

## 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, dentre eles o Brasil. A qualidade dos granitos brasileiros associada à grande variedade cromática e textural faz com que sejam bem aceitos no mercado mundial. A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento mostra sinais de crescimento mesmo com a crise das construções nos Estados Unidos, principal destino das nossas exportações.

Apesar da pujança econômica do setor não só brasileiro como mundial que movimenta em torno de US\$ 40 bilhões/ano (Abirochas, 2009), surpreendentemente, na literatura científica nacional e internacional pouco são os trabalhos que dão o devido destaque às propriedades intrínsecas das rochas, as relações com os processos de beneficiamento e seu emprego em revestimento de edificações. Falta muita técnica a ser aprimorada, ainda se baseia no empirismo, onde as relações das argamassas com o conteúdo químico-mineralógico das rochas não são bem conhecidas, podendo ocorrer após o assentamento patologias, quebras e até mesmo deslocamentos de placas.

Até pouco tempo o uso das rochas era restrito às construções luxuosas, ultimamente está mais difundido e registra um acréscimo no consumo residencial em pisos e revestimentos não só pelas qualidades e efeito estético, mas também pelo preço acessível. Este fato resulta no aumento do uso de argamassa para a fixação, necessitando de estudos mais detalhados sobre as composições das argamassas para atender à grande variedade de tipos de rochas existentes no mercado.

A aderência das placas de “granitos” às argamassas é facilitada pela rugosidade da superfície de contato, uma vez que a baixa porosidade destas rochas impede que a aderência se processe por ancoragem, ficando restrita às ligações físico-químicas entre a argamassa e os minerais constituintes da rocha. Assim sendo, o conteúdo mineralógico é determinante nestas ligações. Mais pesquisas sobre o comportamento dos minerais frente às argamassas deverão ser feitas para melhor compreensão do assunto e também das alterações que levam à ocorrência das pa-

tologias (manchamentos, eflorescências, deslocamentos de placas, etc.) verificadas em pisos e revestimentos.

O presente trabalho trata da fixação das placas de rochas utilizando argamassas colantes que são misturas industrializadas e comercializadas na forma de pó, constituídas de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos, cujas composições variam conforme o fabricante e a finalidade a que se destinam.

O objetivo principal é o de comparar a aderência da argamassa de maior utilização existente no mercado, específica para granitos, referida nesse trabalho como *Argamassa Industrializada*, com uma argamassa ainda não comercial desenvolvida em laboratório para fixação de porcelanatos (material cerâmico produzido com alta temperatura e pressão composto de argilas, feldspatos e corantes), chamada de *Argamassa para Porcelanato*, levando em conta a influência da rugosidade das placas, as características petrográficas da rocha e patologias.

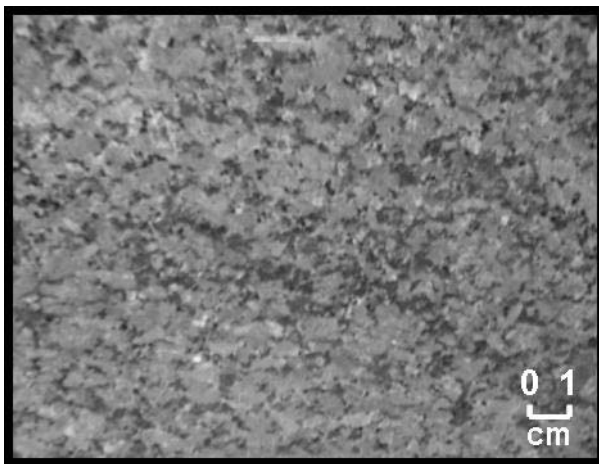
## MATERIAIS

### Rochas ornamentais e de revestimento

Na comercialização das rochas o termo “mármore” se refere a todas as rochas carbonatadas, enquanto que os “granitos” genericamente abrangem as rochas silicatadas (granitos, sienitos, charnoquitos, gabros, basaltos, arenitos, dioritos etc.). É uma classificação assustadora sobre o ponto de vista petrológico, mas é o usual quando se trata de rochas ornamentais e de revestimento. Alguns outros tipos litológicos, incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos e ardósias, também muito importantes setorialmente.

Os “granitos” são bem aceitos no mercado mundial, principalmente os brasileiros, devido a grande variedade cromática e textural (mais de 500 tipos comercializados). O fator estético é muitas vezes decisivo na escolha e é o resultado da harmonia entre as cores, tamanhos, formas e arranjos entre os minerais (Abirochas, 2009).

No presente trabalho foram escolhidos oito tipos de “granitos”, comercialmente conhecidos como Vermelho Brasília (Figura 1), Preto Indiano (Figura 2), Verde Labrador (Figura 3), Preto São Gabriel (Figura 4), Jacarandá Rosado (Figura 5), Azul Fantástico (Figura 6), Cinza Andorinha (Figura 7) e Amarelo Ornamental (Figura 8) por apresentarem boas qualidades tecnológicas e serem de grande aceitação no mercado interno e externo. Todos apresentam baixa porosidade, inferiores a 0,5%, semelhantes aos porcelanatos.



Minerais essenciais: quartzo (32,0%), microclínio (41,0%), oligoclásio (16,0%) e biotita (5,0%).

Figura 1 – Vermelho Brasília (sienogranito)

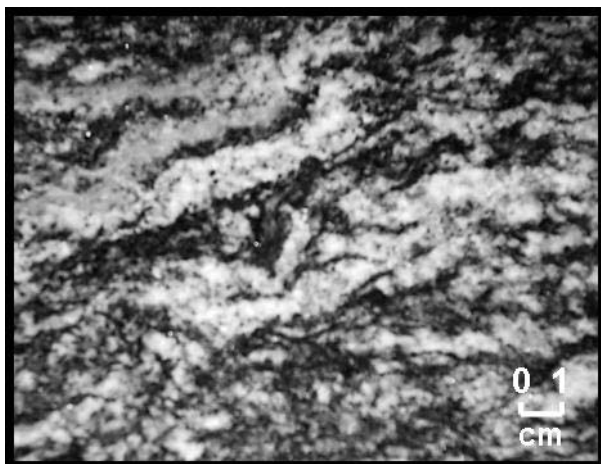


Figura 2 – Preto Indiano (migmatito)

Minerais essenciais:

Paleossoma, cor escura: andesina/oligoclásio (41,0%), quartzo (22,0%), biotita (23,0%) e microclínio (4,5%), além de sillimanita (5,0%) e muscovita (3,0%).

Leucossoma, cor esbranquiçada composto de: andesina/oligoclásio (40,0%), quartzo (32,0%), microclínio (25,0%) e biotita (3,0%).

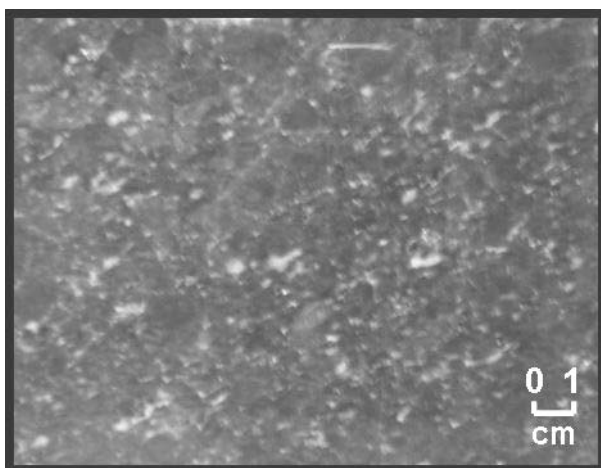


Figura 3 – Verde Labrador (charnoquito)

Minerais essenciais: quartzo (14,0%), microclínio (39,0%), oligoclásio (19,0%), biotita (5,0%), hiperstênio (5,0%), hornblenda (5,0%), granada (5,0%).

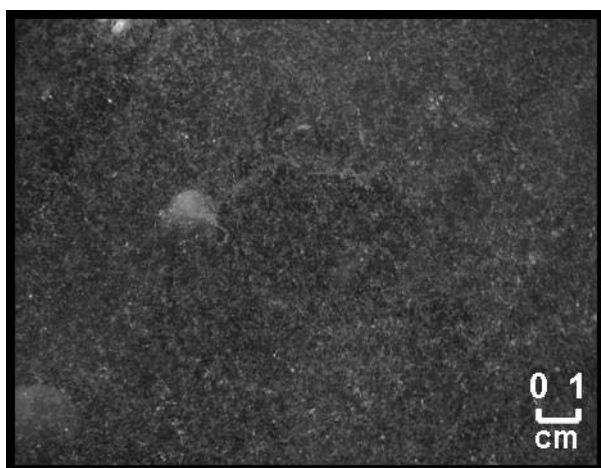


Figura 4 – Preto São Gabriel (Enderbitite - hiperstênio tonalito)

Minerais essenciais: plagioclásio (49,9%), quartzo (20,9%), biotita (12,0%), feldspato Potássico (2,9%), hornblenda (2,1%), Piroxênios (4,8%), pseudomorfos de hiperstênio (2,4%), opacos (4,0%) e apatita (1,0%).

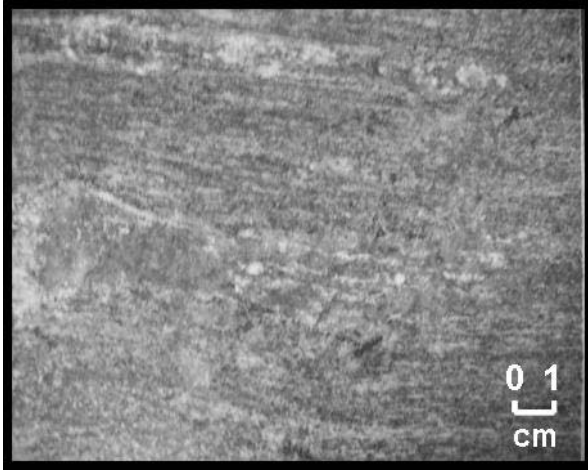


Figura 5 – Jacarandá Rosado (Migmatito nebulítico sienogranítico)

Minerais essenciais: feldspato potássico (38,5%), quartzo (30,5%), plagioclásio (22,0%), biotita (8,6%), opacos (0,4%).

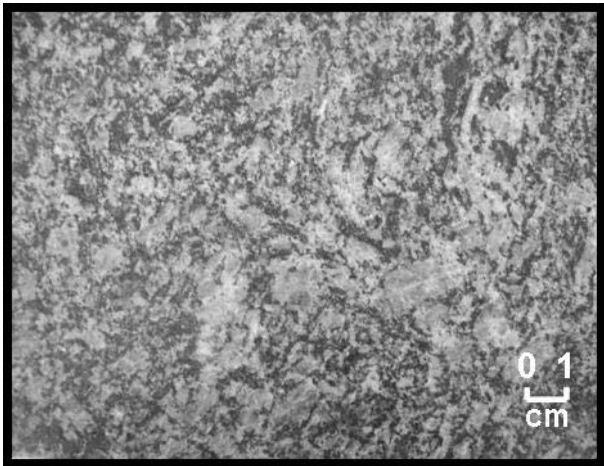


Figura 6 – Azul Fantástico (Biotita Monzogranito Megapofirítico Serial Gnaissificado)

Minerais essenciais: quartzo (29,1%), plagioclásio (28,2%), feldspato potássico (21,3%), biotita (19,9%), opacos (0,8%), titanita (0,4%), apatita (0,3%).

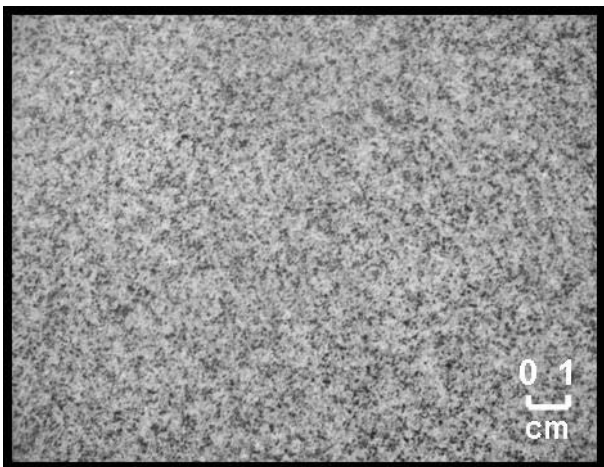
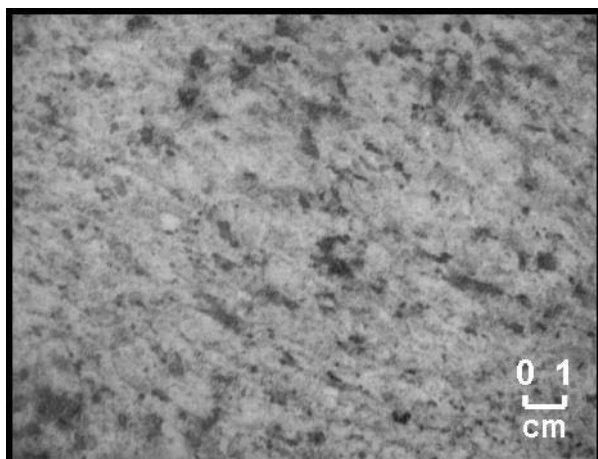


Figura 7 – Cinza Andorinha (Monzogranito)

Minerais essenciais: quartzo (30,0%), microclínio (31,0%), plagioclásio (25,0%), biotita (12,0%), opacos (1,5%), titanita (0,5%).



Minerais essenciais: feldspato potássico (ortoclásio - 40,0%), quartzo (30,0%), plagioclásio (oligoclásio - 21,0%), granada (3,5%), biotita (2,5%)..

Figura 8 – Amarelo Ornamental (Granada gnaiss por-firoblástico)

### Minerais

Para se ter uma ideia da influência mineralógica na aderência dos “granitos” foram efetuados ensaios, separadamente, com os seus principais constituintes: feldspato (microclínio) e quartzo.

### Argamassas e substrato padrão

As argamassas colantes ou argamassas adesivas, ao contrário das convencionais, são aplicadas em camadas finas e na forma de cordões. Suas propriedades reológicas e mecânicas dependem da técnica de aplicação, das condições ambientais no momento do preparo e de seus constituintes, em especial dos seus aditivos (polímeros e sílica ativa).

Os polímeros são adicionados às argamassas de cimento Portland durante a mistura na forma de dispersão (látex ou emulsão). Segundo OHAMA (1997) a adição do látex aumenta a resistência ao impacto; além de proporcionar impermeabilidade. Portanto, as argamassas com estes aditivos são indicadas para assentamento de placas e revestimentos externos.

A sílica ativa melhora a resistência da pasta de cimento hidratado, e segundo KHAYAT & AÏTCIN (1992) tem sido objeto de diversas pesquisas. Esta é adicionada na forma de pó e atua, principalmente, de duas maneiras: como “filler” ou pozolana. Na primeira, as partículas de sílica preenchem a curva granulométrica na faixa inferior à granulometria do cimento, aumentando a coesão e compactidade da argamassa. Como pozolana a sílica reage com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pela resistência da pasta de cimento hidratado.

Quando se estuda a colocação de placas de rocha com argamassas, embora seja uma técnica muito utilizada, as informações são escassas, principalmente no que se refere às argamassas colantes, faltando normas e especificações que orientem uma boa aplicação. Assim sendo usa-se a ABNT NBR 14084:2004 preconizada para placas cerâmicas.

No mercado existem argamassas colantes específicas para granitos, mármore e ardósias. Na presente pesquisa foi utilizada a argamassa específica para granitos, aqui chamada de *Argamassa Industrializada*, comparada com um tipo de argamassa para porcelanato, desenvolvida no Departamento de Arquitetura da USP – São Carlos (Almeida & Sichieri, 2006), referida como *Argamassa para porcelanato*. A razão da escolha se deve ao fato de que o porcelanato e o gra-

nito possuem uma característica em comum, a baixíssima porosidade ( $< 0,5\%$ ), que restringe a aderência mecânica (penetração da argamassa nos poros - ancoragem). Por esta razão, a aderência se processa apenas por ligações químicas ou forças intermoleculares (físicas).

A *argamassa para porcelanato* 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. O cimento é o CP V ARI Plus e a areia tem diâmetro máximo característico de 0,6 mm.

O superplastificante possui as seguintes características: líquido de densidade:  $1,11 \text{ g/cm}^3$  ( $\pm 0,02$ ), pH:  $8,5 \pm 1$ , coloração alaranjada e melamina como base química.

O polímero está na forma de emulsão aniônica isento de plastificantes, formulado a partir de um copolímero de éster de ácido acrílico e estireno e apresenta as seguintes características fornecidas pelo fabricante: Natureza: dispersão aquosa aniônica de um copolímero de butilacrilato e estireno; Teor de sólidos: 49,0 a 51,0%; Viscosidade Brookfield (RVT 415 °C): 1000-2000 mPas; Densidade:  $1,02 \text{ g/cm}^3$ ; pH: 4,5 a 6,5; Temperatura mínima de formação do filme: 20 °C; Tamanho médio de partículas:  $0,1\mu\text{m}$ ; Propriedades do filme: Aspecto límpido e transparente; Boa estabilidade ao envelhecimento e luz.

No substrato padrão, onde serão assentados os corpos de prova, utilizou-se o cimento Portland (CP II E 32), areia média e pedrisco (brita 0).

## MÉTODOS

### Preparação dos corpos-de-prova

Macrocristais de feldspato (microclínio) e quartzo, relativamente puros e com poucas inclusões foram serrados na forma de placas com dimensões de 3x4 cm e espessura de 1cm. As irregularidades do processo de serragem foram retiradas por desbaste “polimento” em politriz com utilização de abrasivo 220 meshes (Figuras 9 a 10).



Figura 9 – Preparação dos corpos-de-prova de quartzo



Figura 10 – Preparação dos corpos-de-prova do feldspato microclínio com presença de ferro, corpo-de-prova pronto.

A extração dos corpos-de-prova das rochas (discos com diâmetro de 3,0 cm) foi feita em ladrilhos utilizando-se furadeira de coluna com broca diamantada. Os discos possuem duas faces

paralelas, uma polida e a outra com a rugosidade (estrias) resultante do processo de serragem nos teares.

Os ensaios de aderência foram executados em duas etapas:

- Corpos-de-prova aderidos à argamassa pela superfície rugosa;
- Corpos-de-prova aderidos à argamassa pela superfície “polida”, cujo brilho foi retirado em torno mecânico com retífica de rebolo diamantado.

### Determinação da rugosidade dos corpos de prova

#### Minerais

A rugosidade foi determinada com o rugosímetro de contato modelo Talysurf 1205 (Figura 11).

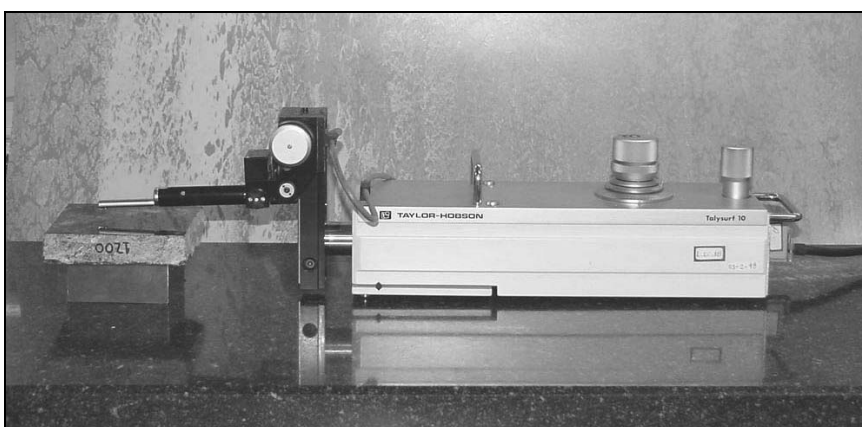


Figura 11 – Rugosímetro de contato modelo Talysurf 1205.

Foi determinada a média aritmética da rugosidade  $R_a$ , que é o parâmetro mais utilizado, refletindo a média dos valores absolutos de todas as ordenadas do perfil, dentro do comprimento de avaliação. Isto equivale à altura de um retângulo de comprimento  $L$  e cuja área representa o somatório das áreas fechadas entre o perfil da rugosidade e a linha média. Em geral, o comprimento utilizado para se obter  $R_a$  inclui cinco conjuntos de picos-vales sucessivos, representado na Figura 12 pela letra  $M$ .

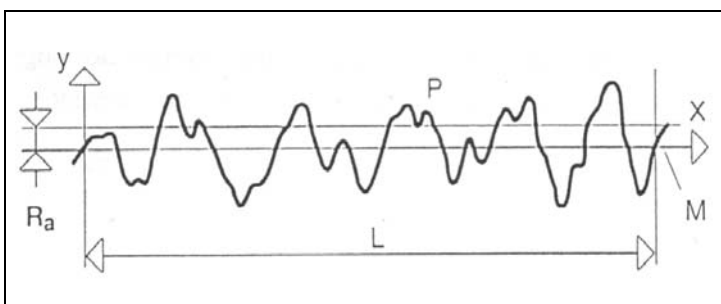


Figura 12 – Definição de  $R_a$  (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998).

#### “Granitos”

O desdobramento de blocos (serragem) realizados em teares é tradicional e as chapas obtidas apresentam maior ou menor rugosidade em função das características da rocha, dos insumos utilizados e das condições operacionais. A rugosidade das superfícies das chapas influencia na



sua aderência, uma vez que não há ancoragem, de forma que quanto maior a superfície de contato, maior a aderência.

Para correlacionar a rugosidade das placas dos “granitos” estudados com os valores de aderência, foi necessária medi-la, não sendo possível a utilização do Talysurf 1205, devido a sua precisão, uma vez que a rugosidade dos corpos-de-prova a ser medida é superior a 0,6 microns. Adotou-se o perfilômetro portátil, projetado e construído por PARAGUASSÚ *et al.* (2004), aprimorado por RIBEIRO *et al.* (2005), mostrado na Figura 13, específico para placas de rochas graníticas serradas em teares e que determina somente o parâmetro  $R_t$ .

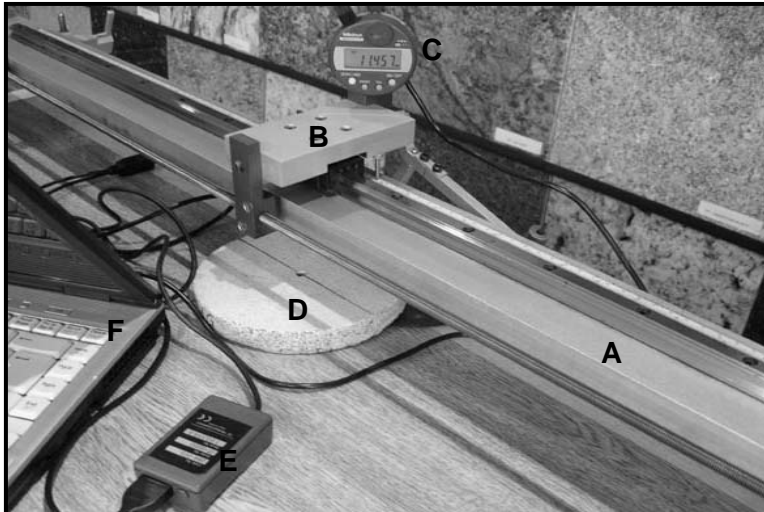


Figura 13 – Detalhe do “Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC”, PARAGUASSÚ *et al.* (2004): (A) corpo do equipamento; (B) carro de medição; (C) defletômetro digital com precisão de 0,001mm.; (D) placa de rocha; (E) interface que envia as medidas do defletômetro para o computador (F).

O parâmetro de rugosidade ( $R_t$ ) corresponde à maior altura entre pico-vale ao longo do comprimento avaliado (Figura 14).

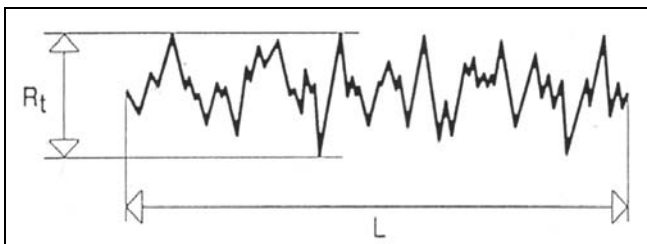


Figura 14 – Definição de  $R_t$  (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998).

### Determinação da Resistência de Aderência à Tração

Foi feita segundo a norma ABNT NBR 14084:2004, que especifica um método de ensaio de laboratório para determinar a resistência de aderência de argamassas colantes para cerâmica.

Os corpos-de-prova foram assentados com as argamassas descritas e mantidos em condições normais de cura especificadas na norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%) por 28 dias.

O equipamento utilizado para a determinação da resistência de aderência a tração é do tipo manual, mostrado nas Figuras 15 e 16, onde C é a pastilha metálica conectada ao equipamento, colado com araldite no corpo-de-prova (disco).

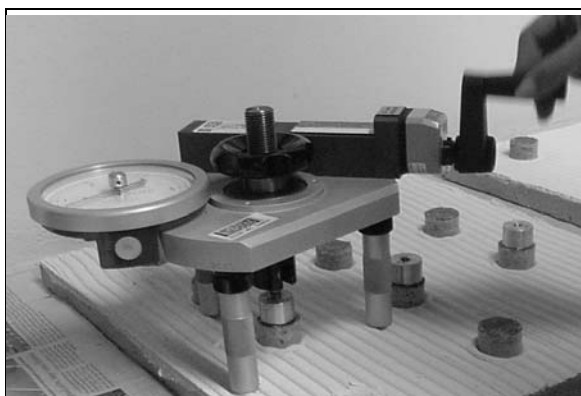


Figura 15 – Equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração.

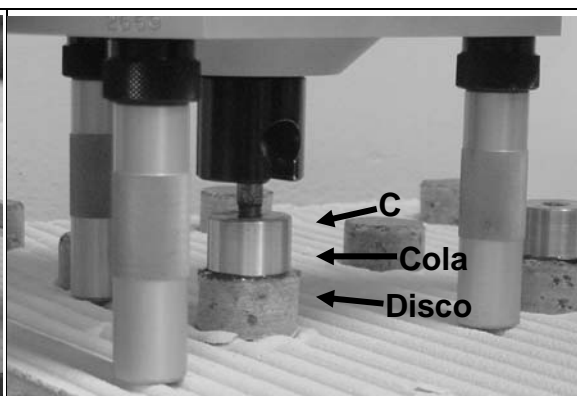


Figura 16 – Detalhe da conexão entre a pastilha metálica colada à rocha e o equipamento de tração.

### Ensaio de Flexibilidade

Quanto maior for a flexibilidade da argamassa, maior será a sua capacidade de se deformar quando houver solicitações de movimentação da estrutura do edifício. Sendo a força cisalhante predominante na interface argamassa/placa, é necessário que a argamassa possua uma resistência ao cisalhamento capaz de suportar essa tensão sem romper e fissurar. Os ensaios de resistência à flexão seguiram a norma BS EN 12002:2002

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios de resistência de aderência à tração realizados com monocristais de feldspato (microclínio) e de quartzo, minerais predominantes nas rochas estudadas, mostraram menor resistência de aderência para o quartzo, em torno de 50% da obtida para o feldspato.

Nas amostras de rochas os resultados da resistência de aderência à tração tanto da face rugosa quanto da face polida/retificada serão apresentados separadamente.

#### Resistência de aderência à tração na face rugosa

A Figura 17 mostra que para todas as rochas ensaiadas a *Argamassa para porcelanato* teve valores aderência de aproximadamente o dobro da *Argamassa Industrializada*.

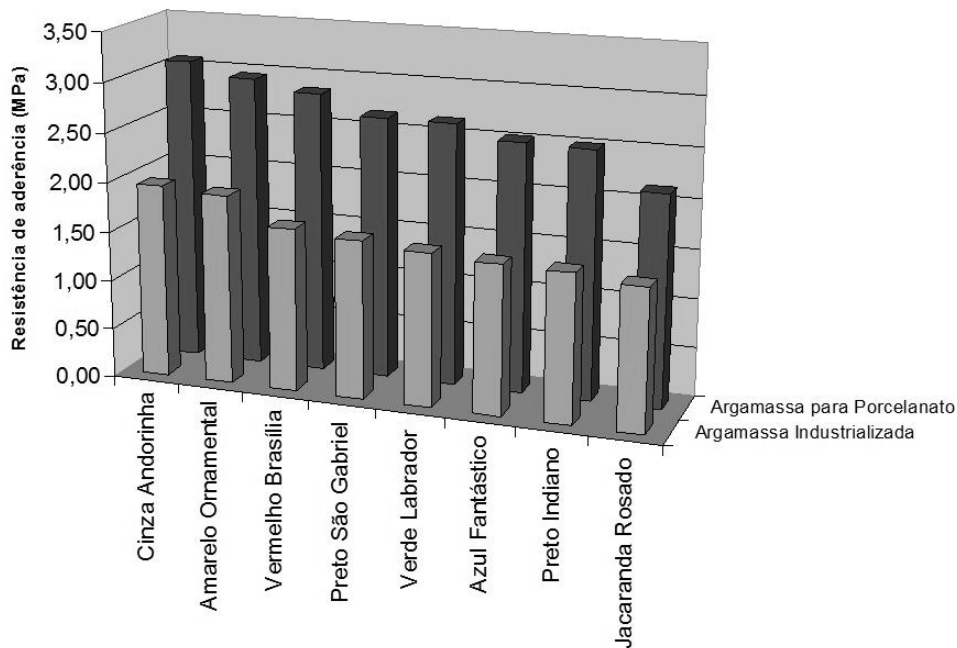
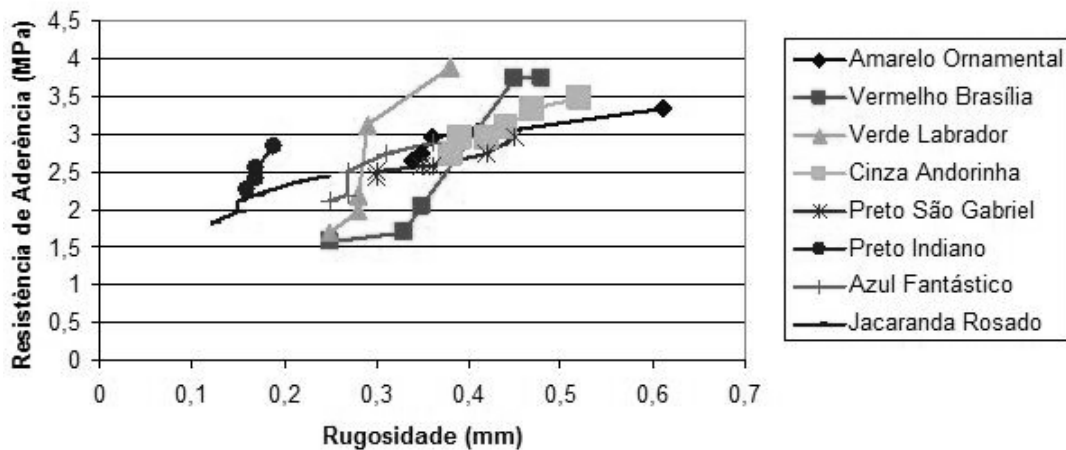


Figura 17 – Resistência de aderência à tração da face rugosa das rochas.

Nas Figuras 18 e 19 são mostradas as relações entre a aderência e a rugosidade onde se observa que a variação da aderência foi diretamente proporcional aos valores de  $R_t$  (mm), evidenciando, que a maior superfície de contato proporciona maior interação física (ligações de *Van der Waals*) já que nestas rochas a baixíssima porosidade limita a aderência por ancoragem (penetração de argamassa nos poros).



Figuras 18 – Resistência de aderência X Rugosidade com a *Argamassa Industrializada*

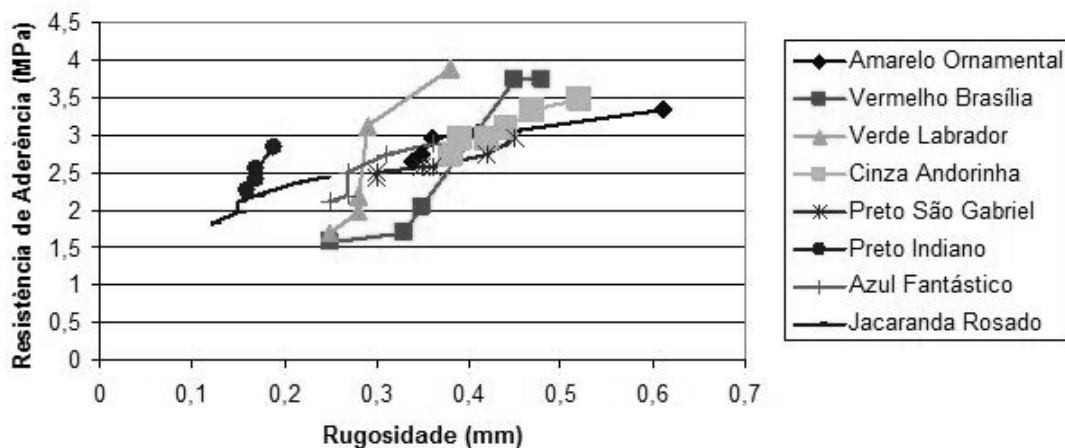


Figura 19 – Resistência de aderência X Rugosidade com a Argamassa para porcelanato.

### Resistência de aderência à tração na face polida/retificada

Para todos os tipos de “granitos” ensaiados a Argamassa para porcelanato apresentou resistência de aderência à tração aproximadamente o triplo da obtida com a Argamassa Industrializada. Como foi eliminada a influência da rugosidade, a aderência ficou restrita às características petrográficas das rochas. Sob este enfoque, a porcentagem de quartzo presente nos “granitos” estudados se constitui no fator predominante para a aderência das argamassas. Na figura 20 os “granitos” exibem teor de quartzo crescente da esquerda para a direita, do Vermelho Brasília (32,0%) ao Verde Labrador (14%).

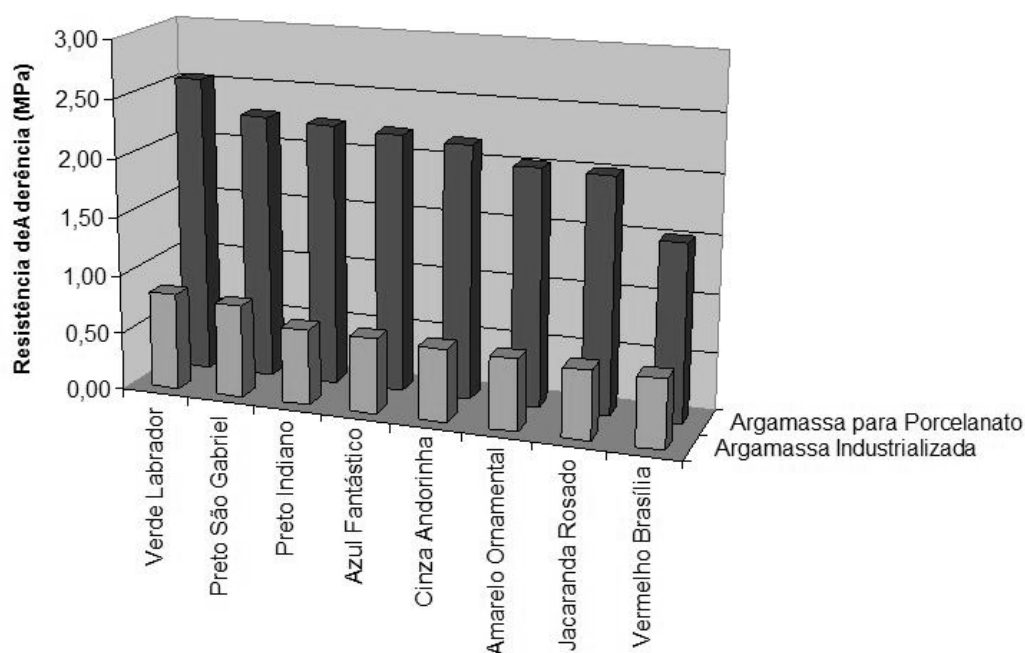


Figura 20 – Resistência de aderência com superfície polida/retificada.

## CONCLUSÕES

- A Argamassa Industrializada apresentou valores de resistência de aderência à tração dentro da norma ( $\geq 1$  MPa);

- A Argamassa para porcelanato (desenvolvida em laboratório) apresentou nos ensaios com as superfícies rugosas, valores de aderência de aproximadamente o dobro da obtida para *Argamassa Industrializada* e quase o triplo com as superfícies polidas/retificadas;
- A resistência de aderência das rochas é influenciada não só pela rugosidade das placas como também pela composição mineralógica;
- A aderência do quartzo é em torno de 50% da verificada no feldspato;
- Nos ensaios realizados com as superfícies não rugosas (polidas/retificadas) em contato com a argamassa, a resistência de aderência foi inversamente proporcional à quantidade de quartzo presente nas rochas. Dentre elas o “sienogranito” Vermelho Brasília (32% de quartzo) apresentou menor valor de aderência e o “charnoquito” Verde Labrador (14% de quartzo), por sua vez, a maior aderência.

### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro proporcionado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. E aos Professores Drs. Antonio Carlos Artur e Antenor Zanardo da Universidade Estadual Paulista - Rio Claro e ao Prof. Dr. Eduvaldo Sichieri.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. E. F. de S. & SICHIERI, E. P., 2006. Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato. *Cerâmica*, v. 52, p. 174-179.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação da resistência de aderência. NBR 14084. Rio de Janeiro, 2004, 5p.
- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2009. Informe nº10/2009. Disponível em: [www.abirochas.com.br/catalogo1.php](http://www.abirochas.com.br/catalogo1.php). Acessada em: 03/11/2009.
- BS - BRITISH-ADOPTED EUROPEAN STANDARD. Adhesives for tiles. Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts. EN 12002. 2002, 12p.
- KHAYAT, K. H. & AİTCIN, P. C., 1992. Silica fume in concrete: an overview. In: FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE. Proceedings Fourth International Conference, Istanbul, Turkey. Volume II. ACI, SP – 132.
- OHAMA, Y., 1997. Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*, 5, p. 31 – 40.
- PARAGUASSÚ, A.B.; RIBEIRO, R.P; RODRIGUES, J.E., 2004. Medidas de Rugosidade em Chapas de Granitos Ornamentais Serrados em Teares Multilâminas. Araxá. 32º Congresso Brasileiro de Geologia.
- RIBEIRO, R.P.; PARAGUASSÚ, A.B.; SILVEIRA, L.L.; RODRIGUES, J.E.; MOREDO, H.C., 2005. Quantificação da textura superficial da chapas de granitos serrados em teares multilâminas. Guarapari. I International Congresso on Dimension Stones.
- 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.

# Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros

*Michelle Pereira Babisk<sup>1</sup>; José Carlos da Rocha; Luís Henrique Leme Louro; Marcelo Henrique Prado da Silva*

## RESUMO

*Neste trabalho foram desenvolvidos vidros tipo sodo-cálcicos utilizando resíduos de rochas ornamentais. Misturas contendo diferentes porcentagens de resíduos, areia e carbonatos (cálcio e sódio) foram homogeneizadas e fundidas em diferentes temperaturas. Foi conseguida a total vitrificação das composições que, devido à presença de óxido de ferro, apresentam coloração verde. Os vidros foram caracterizados quanto à densidade, composição de fases cristalinas e dureza, visando avaliar o seu emprego industrialmente. As propriedades desses vidros foram comparadas com as de vidros comerciais. Os resultados mostraram que os resíduos de rochas ornamentais podem ser utilizados como matéria prima na fabricação de vidros.*

## INTRODUÇÃO

A produção e o consumo de rochas ornamentais vêm aumentando expressivamente ao longo dos últimos anos no mundo e o Brasil situa-se entre os maiores produtores mundiais, sendo o estado do Espírito Santo responsável pela metade da produção total do País. O setor movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo-se a comercialização nos mercados interno e externo e as transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e serviços, gerando cerca de 105 mil empregos diretos em aproximadamente 10.000 empresas (Abirochas).

A importância do setor para a economia nacional é indiscutível, mas, como toda atividade mineradora, tem grande potencial de causar impactos ambientais indesejáveis. No caso da produção de rochas ornamentais, entre outras etapas, faz-se a serragem de blocos para transformá-los em chapas ou placas semi-acabadas. Nesta fase, gera-se quantidades expressivas de resíduos (Calmon e Silva, 2006).

Em algumas empresas, realizam-se processos de separação de fases, onde os resíduos, na forma de lama, são prensados para retirar o excesso de água. Mas evidências revelam que, na quase a totalidade dos casos, as empresas lançam estas lamas em tanques de acúmulo diretamente no solo.

Sem recirculação, parte do líquido evapora ou se infiltra no solo, enquanto a outra parte permanece como umidade nos resíduos acumulados, sem nenhuma previsão de utilização ou reuso. Estima-se que 3 mil toneladas de efluentes sejam lançados por dia no meio ambiente (Prezotti, 2003).

Comercialmente, as rochas ornamentais subdividem-se em dois grandes grupos: granitos e mármore. O granito é uma rocha ígnea, constituído, principalmente por associações variáveis de feldspatos, quartzo e micas, respondendo o quartzo pela maior concentração percentual na

---

<sup>1</sup> Física, MSc. Centro de Tecnologia Mineral. E-mail: mbabisk@cetem.gov.br

formação da rocha granítica, o qual apresenta uma estrutura de sílica cristalizada ( $\text{SiO}_2$ ) (Andrade, 2006).

O mármore é uma rocha metamórfica predominantemente constituída de minerais carbonáticos: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ), além de constituintes em menores quantidades denominados de impurezas (ex: quartzo, micas, etc.). Sua composição mineralógica depende da composição química dos sedimentos (Abirochas).

As composições dos resíduos dependem da serraria em que foram gerados, tanto pela composição da rocha beneficiada, se granitos ou mármore, ou ainda granitos juntamente com mármore, e do processo utilizado na serragem, se teares diamantados ou tradicionais, no qual o resíduo conterá maiores teores de ferro e cal.

Resíduos contaminados com expressivas quantidades de óxido de ferro, pelo uso de granalha (mini esferas de aço ou ferro fundido) como elemento auxiliar no corte das rochas ornamentais, são mais complicados de serem utilizados para desenvolvimento de novos produtos via reciclagem. Para a utilização desse tipo de resíduo para aplicações convencionais, uma possibilidade é a da retirada do ferro do resíduo por meios químicos, o que esbarra no custo, que, na prática torna-se inviável essa alternativa. Portanto necessita-se buscar uma saída tecnológica inovadora, simples, que agregue valor e que viabilize, de forma competitiva, o uso desse tipo de resíduo em aplicações industriais, na forma como eles se encontram em decorrência do processo produtivo.

Sobre a utilização desses resíduos, vários trabalhos já foram realizados e há várias alternativas em estudo, sendo algumas delas já incorporadas a novos produtos e processos, como por exemplo, emprego em produtos para a construção civil (tijolos a base de cimento), em composições de cerâmica vermelha (telhas e tijolos), em artefatos de borracha (sem uso estrutural) e na formulação de argamassas industriais, dentre outros (Menezes et al, 2002; Mello, 2006; Pontes e Vidal, 2005; Moreira et al, 2003; Gonçalves, 2000; Carvalho et al, 2006).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver vidros sodo-cálcicos através do aproveitamento dos resíduos produzidos no beneficiamento de rochas ornamentais, mediante ajuste de composição, caracterizar os vidros obtidos e comparar suas propriedades com as de vidros comerciais.

A alternativa tecnológica da produção de vidros a partir do uso de resíduos de rochas ornamentais, especialmente aqueles contaminados com óxido de ferro, abre uma interessante possibilidade de destinação ao resíduo, agregando valor ao mesmo e minimizando o impacto ambiental. Como consequência, adotando-se industrialmente essa alternativa tecnológica, tem-se também uma diminuição na utilização de areia, outra atividade de extração mineral que apresenta impacto desfavorável ao meio ambiente

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os resíduos utilizados neste trabalho foram coletados em indústrias beneficiadoras de rochas ornamentais (serrarias) da cidade de Cachoeiro de Itapemirim - Espírito Santo. Foram escolhidas duas empresas para recolher os resíduos utilizados, uma que processa majoritariamente granitos em teares tradicionais (emprego de granalha), na qual foram coletados os resíduos silicáticos, úmidos, diretamente da pilha de descarte de um filtro-prensa, e outra, que processa somente mármore, em teares diamantados, na qual foram coletados os resíduos carbonáticos, em um poço localizado na empresa. A areia utilizada como fonte auxiliar de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) foi coletada em um areal situado no mesmo município.

Para a adição dos óxidos modificadores de rede foram utilizados carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) P.A. e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) P.A..

Inicialmente foi feita a moagem da areia em um moinho de bolas por 2 horas, de forma a torná-la compatível com o tamanho das partículas dos resíduos, favorecendo assim uma adequada homogeneidade da mistura dos reagentes.

Os resíduos de granito e de mármore foram separadamente secos em estufa à 100°C por 24 horas e desagregados com gral e pistilo.

A caracterização dos resíduos e da areia após moagem foi realizada através de análise de tamanho e distribuição de tamanhos de partículas em um analisador a laser da marca CILAS, modelo 1064, em ambiente aquoso no pH 10, utilizando pirofosfato de sódio como dispersante, análise de fases cristalinas por difração de raios-x pelo método do pó, com fonte de radiação monocromática  $\text{CuK}\alpha$ , em um difratômetro da marca Philips, modelo X'pert Pro, voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA, e análise química por fluorescência de raios-x em um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, marca Philips, Modelo PW 2400, empregando-se como método de preparação das amostras, pastilhas fundidas com fluxo (tetra/metaborato de lítio).

Foram investigadas quatro composições de vidros. As composições dos resíduos foram ajustadas com adições de areia (sílica) e carbonatos (sódio e cálcio), de modo a se obter composições que se aproximassem àquelas do vidro comum, porém com maior e menor teor de óxidos modificadores para se avaliar a influência da adição desses óxidos nas propriedades dos vidros.

Três das quatro composições foram preparadas a partir do resíduo de granitos, enriquecidas com sílica ( $\text{SiO}_2$ ) na forma de areia e contendo quantidades intermediárias de óxidos de sódio e cálcio, e uma quarta composição foi preparada contendo resíduos de mármore e de granitos, com adições de areia e carbonato de sódio. Cada composição foi homogeneizada por 30 minutos em um moinho tipo turbula antes da fusão.

As composições foram aquecidas ao ar, em cadinho de platina, em um forno de câmara a temperaturas de 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C com taxa de aquecimento de 5°C/min por 60 minutos, para se avaliar visualmente, empregando um microscópio estereoscópico, a temperatura aproximada de fusão de cada mistura.

Para garantir a homogeneidade e simular o processo usualmente utilizado industrialmente, com exceção do tempo, as misturas foram aquecidas a 1500°C por 2 horas.

Como referência para fins de comparação das propriedades, amostras de vidros comerciais, de embalagem de bebidas (VB) e de utilização em construção civil (VJ), foram utilizadas.

Para se analisar o comportamento das misturas durante a decomposição dos carbonatos, foram realizadas análises ao ar em um analisador térmico TA Instruments, modelo SDT 2960, DTA-TGA, em cadinhos de alumina, com massa das amostras de  $30 \pm 5$  mg, com faixa de temperatura entre 28 e 1200°C e taxa de aquecimento de 10°C/min.

Os vidros obtidos e os comerciais foram caracterizados quanto à densidade pelo método de Arquimedes, análise de fases cristalinas por difração de raios-x, a fim de se detectar a presença de fases cristalinas nos vidros, pelo método do pó, com fonte de radiação monocromática  $\text{CuK}\alpha$ , em um difratômetro da marca Philips, modelo X'pert Pro, voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA e dureza utilizando indentação Vickers, em um microdurômetro digital marca BUEHLER, modelo Micromet 2003, com carga de 300g.

As nomenclaturas dos vidros corresponderam às misturas das quais foram originados, como por exemplo, Vidro 1 corresponde a Mistura 1.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo resultado obtido da distribuição de tamanho de partículas da areia vimos que a moagem por duas horas foi suficiente para reduzir o tamanho das partículas a menos que  $100\ \mu\text{m}$ , garantindo assim a homogeneidade da mistura de matérias primas.

As curvas obtidas nos resultados da distribuição de tamanho de partículas dos resíduos de granito e de mármore, apresentadas nas Figuras 1 e 2, se mostraram similares, e como esperado também com partículas menores que  $100\ \mu\text{m}$ . Esta similaridade é um indicativo de que a distribuição de tamanho de partículas destes resíduos, gerados no processo de serragem dos blocos em teares, é homogênea. Enfatizando ainda que os resíduos utilizados neste trabalho sejam de diferentes tipos de rochas e beneficiados em serrarias diferentes, as quais utilizam diferentes teares em seus processos de serragem.

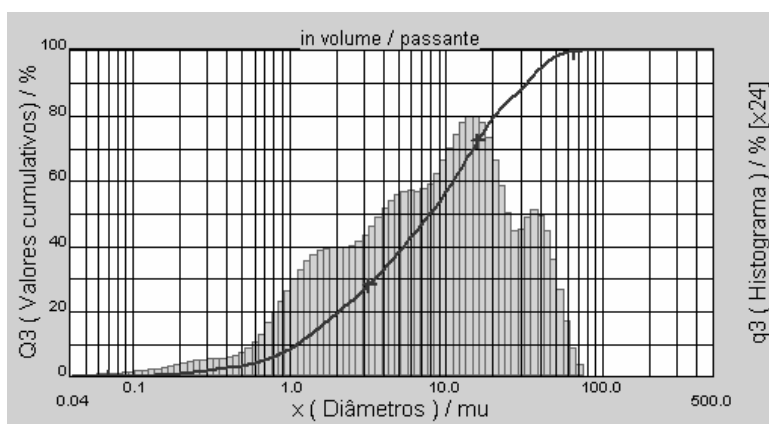


Figura 1 - Distribuição de tamanho de partícula do resíduo de granito.

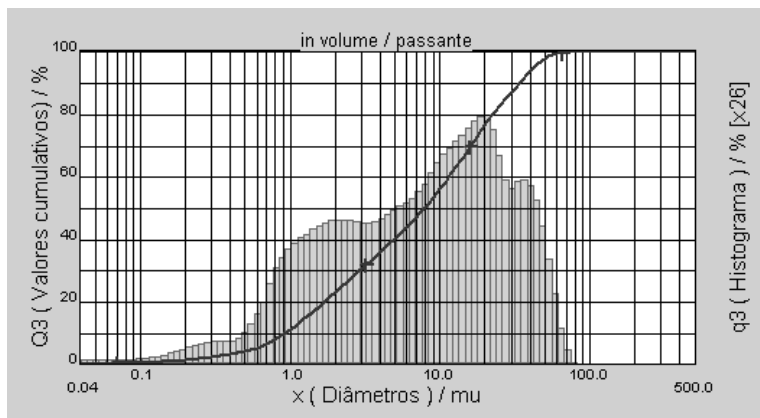


Figura 2 - Distribuição de tamanho de partícula do resíduo de mármore.

Nas análises de fluorescência de raios-x foram identificadas as composições químicas das matérias-primas, em % peso, mostradas na Tabela 1, e na difração de raios-x a composição mineralógica, identificando assim a estrutura dos compostos encontrados na análise química, apresentadas nos difratogramas a seguir.

Tabela 1 - Composição química das matérias-primas (% em peso).

Componentes	Resíduo de Granito	Resíduo de Mármore	Areia
SiO <sub>2</sub>	71.18	1,97	98.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.56	-	-
Na <sub>2</sub> O	3.05	-	-
CaO	2.96	37,09	-
MgO	-	16,56	-
K <sub>2</sub> O	4.34	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.21	0,09	0,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	0.57
ZrO <sub>2</sub>	-	-	0.33
P.F.	-	43.55	-

A análise química da areia e do resíduo de granitos revela que o SiO<sub>2</sub>, óxido formador da rede vítrea, é o componente majoritário, porém no resíduo quantidades relevantes de CaO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O, óxidos modificadores de rede e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxido intermediário, são encontrados. Como esperado, pelo fato do beneficiamento deste resíduo ter sido realizado em tear tradicional, teores razoáveis de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram identificados. Neste trabalho, este óxido desempenhou papel fundamental, pois atuou como colorante na formulação de vidro.

O resíduo de mármore, como esperado exibe características essencialmente típicas de rochas carbonáticas, sendo composto predominantemente de MgO e CaO, e elevado valor de perda ao fogo, fruto da decomposição térmica dos carbonatos durante a análise química.

Nos difratogramas (Figura 3), a fase cristalina predominante na areia é a do quartzo, do resíduo de granito, verificam-se os picos característicos das fases cristalinas referentes à sílica, silicatos de cálcio, potássio, alumínio e sódio, e ainda indícios de magnetita e no resíduo de mármore, observa-se que os picos cristalinos predominantes são da calcita e da dolomita.

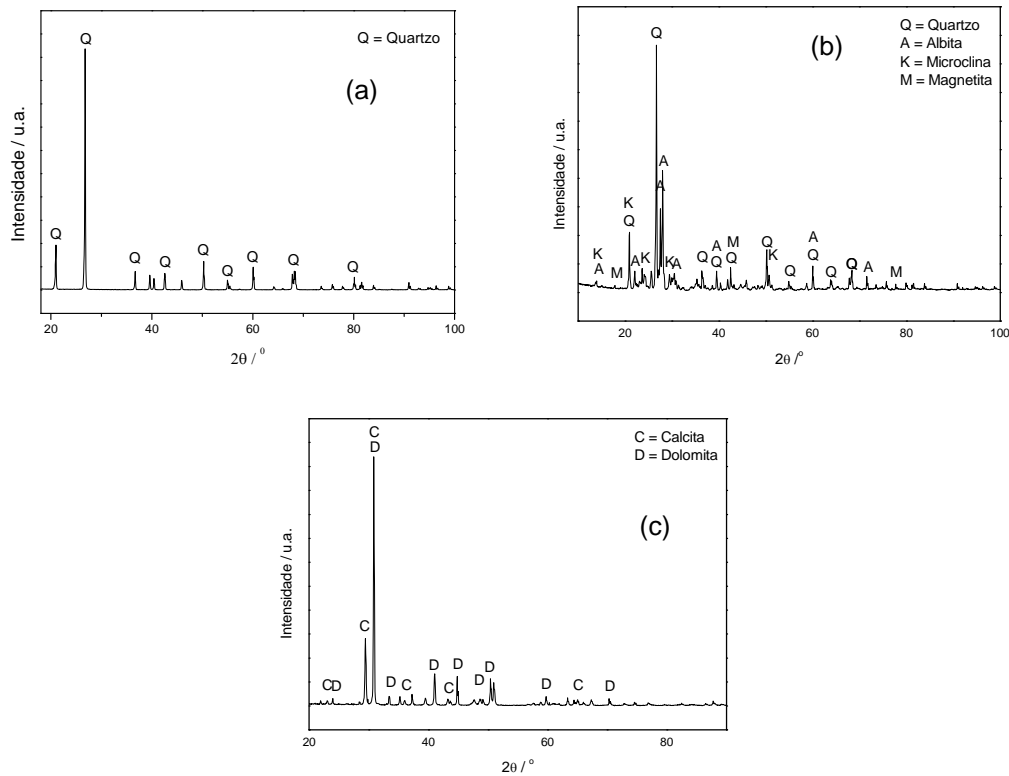


Figura 3 - Difractogramas: a) areia, b) resíduo de granito e c) resíduo de mármore.

Na fusão a mistura 1 começou a fundir em  $1050^\circ\text{C}$  e a  $1150^\circ\text{C}$  fundiu totalmente. As misturas 2, 3 e 4 começaram a fundir em  $1000^\circ\text{C}$  e fundiram totalmente a  $1050^\circ\text{C}$ . Como esperado as que continham maiores quantidades de óxidos modificadores (principalmente óxido de sódio) fundiram a temperaturas mais baixas.

Quando as misturas foram aquecidas até  $1500^\circ\text{C}$ , com objetivo de simular o mais próximo possível as condições industriais, como resultado obteve-se vidros com cores homogêneas, mostrados na Figura 4. Foi possível eliminar a maior parte das pequenas bolhas, que coalesceram. Nenhum vidro continha bolhas aprisionadas em sua espessura, apenas nas interfaces com o cadinho.

O processo de produção de vidro em laboratório, empregando-se forno de câmara, onde o aquecimento da mistura se dá pelas laterais e superfície do cadinho, sem nenhuma movimentação da massa, não é apropriado industrialmente, pois contribui para que as bolhas fiquem aprisionadas no vidro, preferencialmente aderidas ao fundo do cadinho.

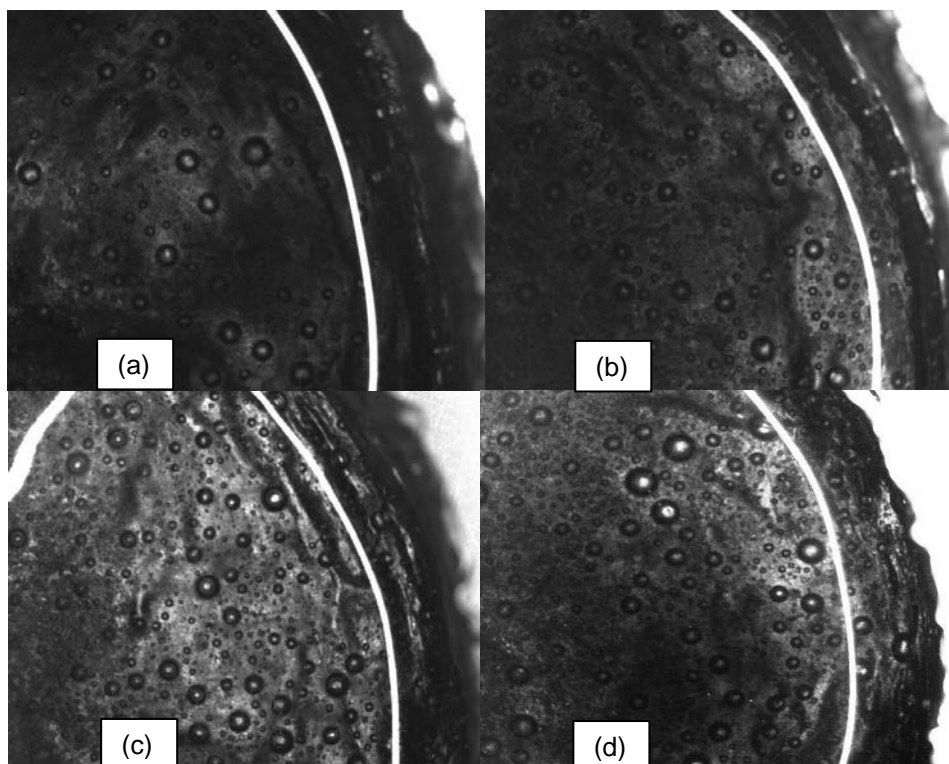


Figura 4 - Imagens obtidas por microscopia estereoscópica dos vidros com aumento de 7X. (a) Vidro 1, (b) Vidro 2, (c) Vidro 3 e (d) Vidro 4.

As curvas obtidas por meio do ensaio termogravimétrico analisaram o comportamento das misturas durante a decomposição térmica. A seguir encontram-se as curvas das misturas preparadas para os vidros 1, 2, 3 e 4 (Figura 5).

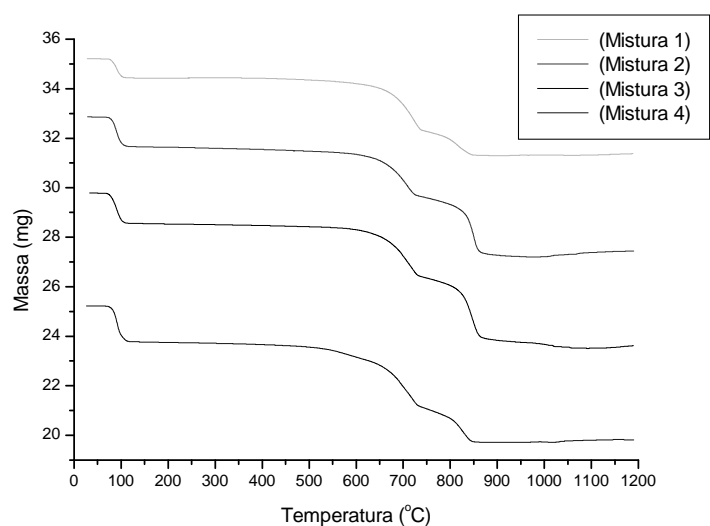


Figura 5 - Curvas termogravimétricas das misturas dos vidros.

As misturas começaram a perder massa em 100°C, correspondente a perda da água. As etapas da decomposição dos carbonatos para as misturas 1, 2 e 3 começam em aproximadamente 600°C, faixa correspondente a decomposição do carbonato de cálcio e logo após ocorre a decomposição do carbonato de sódio, em torno de 850°C.

Devido a presença do resíduo de mármore, que possui dolomita em sua composição, a etapa da decomposição dos carbonatos para a mistura 4 começa em aproximadamente 480°C, faixa de decomposição correspondente ao carbonato de magnésio, seguida pela decomposição do carbonato de cálcio e sódio.

As análises de difração de raios-x realizadas em todos os vidros produzidos e nos vidros comerciais não identificaram a presença de nenhuma fase cristalina. Os difratogramas (Figura 6) mostram os vidros completamente amorfos.

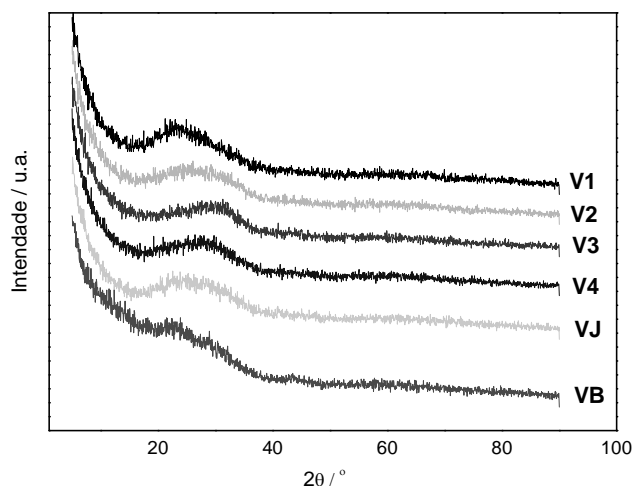


Figura 6 - Difratogramas dos vidros produzidos e comerciais (V1 - Vidro da composição 1, V2 - Vidro da composição 2, V3 - Vidro da composição 3, V4 - Vidro da composição 4, VJ - Vidro comercial “de janela” e VB - vidro comercial de embalagem de bebida).

Todos os valores de densidades medidos são compatíveis com o citado na literatura (Tabela 2). Devido à presença dos óxidos modificadores de rede, os vidros sodo-cálcicos têm densidade nominal de 2,5 g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados dos valores das durezas (Tabela 2), tanto dos vidros produzidos quanto dos comerciais, apresentaram-se uniformes, não variando drasticamente, como previsto para vidros silicáticos (Shelby et al, 2000).

O vidro 4 foi a única exceção dos vidros produzidos, apresentando maior dureza, ele é o único vidro produzido que possui o íon de magnésio em sua rede, devido à incorporação do resíduo de mármore em sua composição, esse comportamento pode estar ligado ao maior empacotamento da rede proporcionado pela incorporação do magnésio à composição.

Tabela 2 - Resultados das análises.

Vidros	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza (GPa)
V 1	2,47	4,8
V 2	2,53	4,8
V 3	2,53	4,8
V 4	2,55	5,7
VB	2,39	4,7
VJ	2,47	4,9

## CONCLUSÕES

Este trabalho alcançou seu objetivo de desenvolver vidros sodo-cálcicos através do aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais silicáticas e carbonáticas produzidos no beneficiamento das rochas ornamentais. As composições preparadas resultaram em vidros completamente amorfos.

Os vidros produzidos apresentaram propriedades típicas de vidros sodo-cálcicos, e similares as dos vidros comerciais comparados.

Utilizando os resíduos de rochas ornamentais como matéria-prima na fabricação de vidros, contribui-se ambientalmente em dois fatores, encontrando destinação aos resíduos que poluem ao serem lançados diretamente na natureza e diminuindo a extração mineral de areia.

## REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Disponível em: [WWW.abirochas.com.br](http://WWW.abirochas.com.br) (capturado em 01 nov. 2008)
- ANDRADE, Marcelo Corrêa. **Caracterização e aproveitamento de feldspato contido em finos de pedreiras de granito**. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.
- CALMON, J. L.; Silva, S. A. C.. **Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: Domingues, A. F.; Boson, P. H. G.; Alípaz, S.. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. pág. 199 a 231. Disponível em: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), (capturado em 12 jan. 2009).
- CARVALHO, E. A. ; Campos, A. R. ; Peiter, C. C. ; Rocha, J. C.. **Aproveitamentos dos resíduos finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua**. III SRON – Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, PE, 2002.
- GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- MELLO, Roberta Monteiro. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Aplicações Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2006.

- MENEZES, R. R. ; Ferreira, H. S. ; Neves G. de A. ; Ferreira, H. C.. **Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas**. Cerâmica, vol 48, nº 306, 2002.
- MOREIRA, J. M. S. ; Freire, M. N. ; Holanda, J. N. F.. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**. Cerâmica 49 (2003), 262-267.
- PONTES, I. F. ; Vidal, F. W. H.. **Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil**. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, novembro, 2005, pág. 117.
- PREZOTTI, J. C. S.. **Resultados de monitoramentos de estações de tratamento de efluentes líquidos de indústrias de beneficiamento de mármore e granito, implantadas no município de Cachoeiro de Itapemirim**. In: Sesma – Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, FAESA, 5., Vitória, 2003
- SHELBY, J. E. ; Lacourse, W. C. ; Clare, A. G.. **Ceramics and Glasses**. New York State College of Ceramics, Alfred University. In: Engineered materials Handbook. Engineering properties of oxide glasses and other inorganic glasses, vol 4, 2000. pág 845 a 857.

# O APL calcário do Cariri no contexto do ordenamento do território

*Nuria Fernández Castro<sup>1</sup>; Edson Farias Mello; Francisco Wilson Hollanda Vidal*

## RESUMO

*O calcário laminado, da Bacia sedimentar do Araripe, comercializado como “Pedra Cariri” é explotado há mais de 40 anos em um aglomerado de uma centena de pedreiras no sul do Estado do Ceará, em uma região com vocação para a preservação ambiental e o turismo, que se destaca por seu patrimônio geomorfológico, florestal, geológico, paleontológico e arqueológico. Por suas especialíssimas características, a região está contemplada em diversos instrumentos de ordenamento do território que deverão levar ao controle das atividades econômicas nela desenvolvidas e à seleção e apoio daquelas que garantam a sustentabilidade da exploração dos recursos naturais. A mineração, nessa região com baixos índices de desenvolvimento, tem uma grande importância socioeconômica, motivo pelo qual foi implementado, com sucesso, o APL Calcário do Cariri. No entanto, a sobrevivência desse APL dependerá da organização da produção no âmbito do ordenamento territorial, integrada ao cenário de proteção do patrimônio e turismo científico que se apresenta para o futuro da região, como única alternativa à sua sustentabilidade.*

## O APL DE CALCÁRIO DO CARIRI

O calcário laminado conhecido comercialmente como “Pedra Cariri” é explotado, há mais de 40 anos, para uso como rocha de revestimento, em lajotas naturais de diversos tamanhos, no Sul do Estado do Ceará, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, nas encostas do flanco norte da Chapada do Araripe (Fig. 1). A produção da Pedra Cariri, por um aglomerado de pequenas pedreiras, constitui a principal fonte de renda desses municípios. Estimativas recentemente realizadas indicam uma produção de 100.000 m<sup>2</sup> mensais, que geram uma renda bruta de um milhão de reais mensais e empregam, aproximadamente, 1.500 trabalhadores (CASTRO, 2009).

A Chapada do Araripe, nome originário da língua Tupi que significa “lugar das araras” (LIMAVERDE, 2007) é uma feição geomorfológica, um planalto sedimentar, constituído de sedimentos mesozóicos da Bacia Sedimentar do Araripe, a maior das bacias intracratônicas do Brasil. Essa bacia abrange parte dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, está delimitada, aproximadamente, pelas coordenadas geográficas: 38°30’00” e 40°55’00” de longitude oeste de Greenwich; 7°10’00” a 7°50’00” de latitude sul, ocupando uma área de entre 8.000 km<sup>2</sup> (NEUMANN, 1999) e 11.000 km<sup>2</sup> (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1996).

---

<sup>1</sup> Nuria F. Castro, Mestre em Geologia, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, ncastro@cetem.gov.br



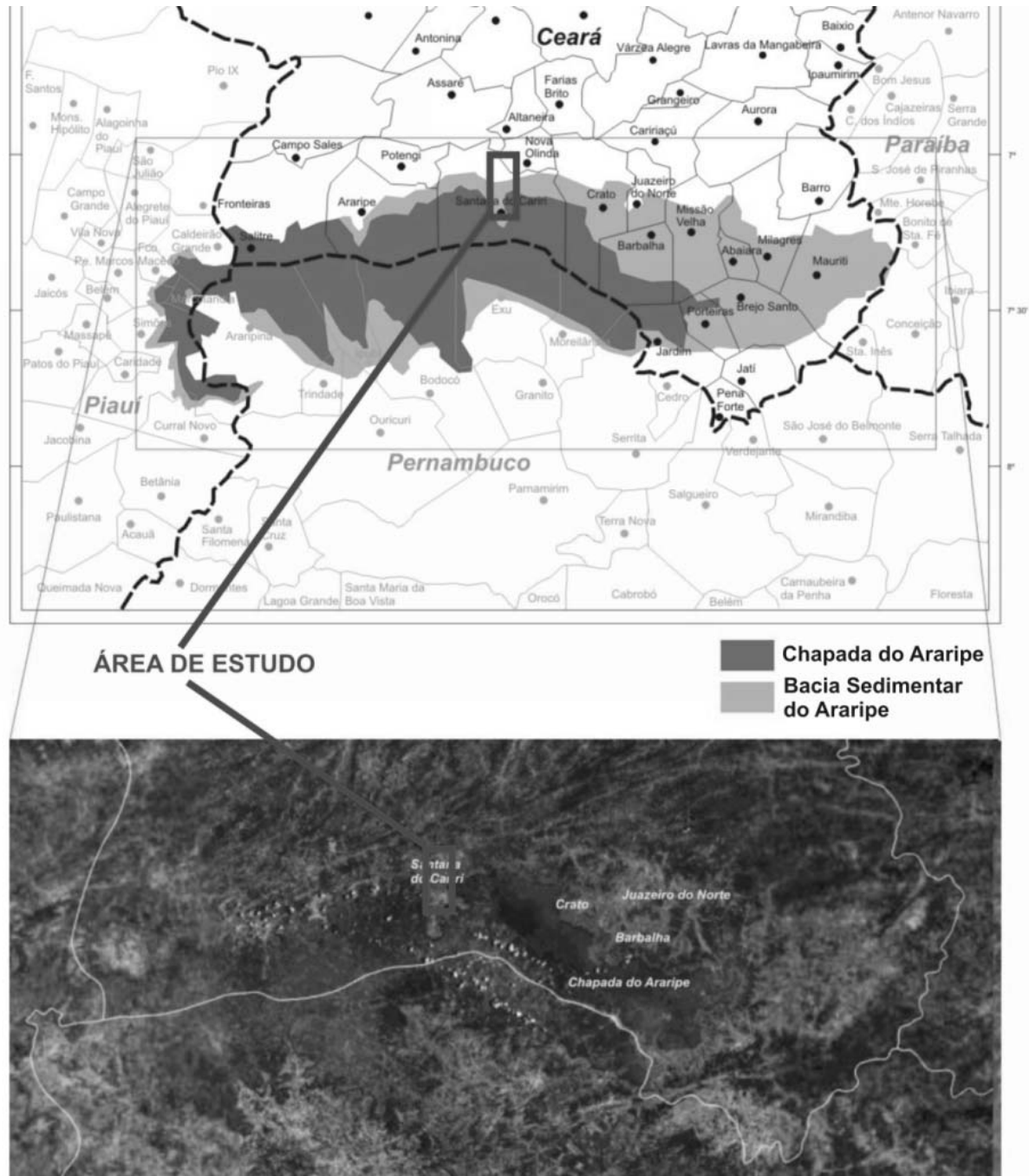


Figura 1 - Localização da área de estudo. Modificado de URCA (2005)

A área localiza-se no centro da região Nordeste do país, ficando, praticamente, equidistante das principais capitais nordestinas (ao redor de 700 km) e muito próxima do pólo cearense conhecido como CRAJUBAR (cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha), onde se concentra uma alta percentagem da população do estado, e que conta com serviços indústrias e estrutura institucional.

Fisiogeograficamente pertence à Mesorregião da Chapada do Araripe, região influenciada pela chapada homônima, que abrange 103 municípios; 18 no Estado de Pernambuco, 60 no Estado do Piauí e 25 no Estado do Ceará. A parte inserida no Estado do Ceará é denominada Mesorregião Sul Cearense, sendo que a maior parte dela é ocupada pela Bacia Sedimentar do

Araripe. Nela, os municípios de Santana do Cariri, Nova Olinda, Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velhas, Jardim e Porteiras, com parte da área na Chapada do Araripe e parte na área do Vale do Cariri, conformam a Microrregião do Cariri cearense (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2009a; RONCARATTI, 2007).

O território da Bacia do Araripe constitui-se em uma região de fundamental importância para o entendimento da evolução geológica regional, especialmente no que se refere à formação do Oceano Atlântico Sul, quando da separação da Placa Africana da Placa Sul-Americana, por apresentar a série completa de sequências tectono-sedimentares dessa época e um grande registro paleontológico, podendo servir de modelo para o estudo de outras bacias correlatas.

Dentre as unidades litoestratigráficas da Bacia do Araripe, a Formação Santana (ou Grupo Araripe, para alguns autores) é estratigraficamente a mais complexa e também a de maior interesse, por apresentar extensas jazidas de gipsita (Unidade Ipubi) e, principalmente, constituir um dos principais sítios paleontológicos brasileiros, pela alta qualidade de preservação do conteúdo de sua biota fóssil (ASSINE, 1992), contando com dois jazigos fossilíferos de importância mundial (*Lägerstätten*) nas unidades Crato e Romualdo.

Por esses motivos, muitos trabalhos científicos tem sido publicados sobre a região, principalmente nas áreas da paleontologia e estratigrafia, sendo de especial importância os trabalhos de Beurlen (1962, 1963 e 1971), Ponte e Appi (1990), Assine (1990, 1992, 1994 e 2007), Neumann (1999), Silva (2003) e Martill (1993, 2007), destacando-se também a fundamental contribuição de Ponte e Ponte Filho (1996) para o conhecimento da evolução tectônica da Bacia do Araripe. Dentre a enorme quantidade de estudos paleontológicos realizados na região, destacam-se aqui apenas alguns como os de Duarte (1985), Mohr e Friis (2000) e Mohr e Bernardes-de-Oliveira (2004) para os vegetais; os de Carvalho e Viana (1993) sobre conchocostráceos; os de Lima (1978) sobre palinologia; e as muitas e importantes publicações de Ismar de Souza Carvalho, Paulo Marques Machado Brito, Maria Somália Soares Viana, Diógenes de Almeida Campos, Alexandre Kellner, Rafael Gioia Martins Neto e James G. Maisey, incluindo esse último o "Atlas dos Fósseis da Formação Santana" (MAISEY, 1991), dentre outros.

Devido à estrutura geomorfológica da Bacia do Araripe, a região conta com o principal reservatório de água subterrânea do estado do Ceará. A parte superior da bacia é um extenso planalto, com uma leve declividade para o norte, planalto que constitui a Chapada do Araripe e se estende por uma área de mais de 5.000 km<sup>2</sup> nos Estados de Pernambuco, Piauí e Ceará. De altitude média de 800 m, acima do nível do mar, a chapada é capeada por arenitos de alta permeabilidade sobrepostos a camadas de materiais bem menos permeáveis, o que resulta na ocorrência de muitas fontes naturais e na formação de um importante sistema de aquíferos, principalmente, do lado cearense.

Ainda, a região conta com outras características especiais que a dotam de um grande potencial para o turismo, em especial para o turismo geocientífico: conta com o primeiro Parque Natural protegido por lei no país, a Floresta Nacional do Araripe; uma Área de Proteção Ambiental (APA); sítios arqueológicos, com achados de artefatos líticos, peças cerâmicas e pinturas rupestres; espetaculares paisagens naturais e; desde 2006, abriga o primeiro e único Geopark das Américas, associado à rede mundial de Geoparks, da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), o Geopark Araripe.

A produção da Pedra Cariri na Chapada do Araripe, acredita-se que à sombra da produção de gesso, que se iniciou nos anos 40 do século XX, foi feita tradicionalmente de forma ilegal, predadora, sem mecanização e sem planejamento e em um ambiente de concorrência desleal entre os produtores, que levou à baixa qualidade dos produtos e à geração de importantes impactos ambientais, principalmente o acúmulo de cerca de um milhão de m<sup>3</sup> de rejeitos e o

assoreamento dos pequenos e intermitentes cursos d'água da região. A abertura de grande número de pequenas frentes de lavra também facilitou a descoberta de espécimens de fósseis e sua venda ilegal o que fez que a comunidade científica chamasse a atenção para a destruição do patrimônio paleontológico promovido pela expansão das pedreiras. No início dos anos 90, os problemas não podiam mais ser ignorados e, ante a iminência de uma possível paralisação das atividades, o que resultaria em conseqüências socioeconômicas drásticas para os moradores destes municípios, a Associação dos Produtores da Pedra Cariri mobilizou-se em busca de apoio dos órgãos competentes, em todas as esferas de governo. Desde então, considerando a importância socio-econômica dessa atividade, muitos atores, nos níveis local, regional e nacional, vêm trabalhando juntos, com o apoio econômico do governo. O desenvolvimento da produção foi maior a partir de 2005, quando essa atividade foi inserida na política governamental de apoio ao desenvolvimento sustentável dos APLs de Base Mineral. A mineração foi incluída no programa de governo de apoio aos Arranjos Produtivos Locais - APL com base nos princípios de soberania sobre os recursos naturais, o desenvolvimento sustentável, a competitividade econômica e o desenvolvimento regional. O objetivo do programa é o fortalecimento das micro, pequenas e médias empresas em aglomerados e sistemas produtivos mediante a integração de ciência, tecnologia e inovação (PEITER; CASTRO, 2007). Os APLs caracterizam-se por serem:

aglomerados de agentes econômicos, políticos e sociais, localizados em um mesmo território, que apresentam vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem. Relaciona-se com o conceito de planejamento regional. São fenômenos vinculados à economia de aglomeração e têm a localização e a cadeia de valor como aspectos relevantes. (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006a)

Para a mineração, o Ministério das Minas e Energia do Brasil selecionou, em um levantamento específico de pólos minerais, 200 aglomerados, dos quais, vinte e nove foram considerados como tendo boas ou muito boas condições de se desenvolverem e elevar os benefícios sociais e econômicos das comunidades locais. Um deles foi o APL de calcários do Cariri que, inicialmente, incluía também a produção de calcário cristalino na região de Barbalha, mas essa atividade foi excluída por estar sendo realizada em áreas já requeridas por uma grande empresa o que inviabilizava sua regularização.

O investimento total realizado na região visando direcionar a produção de calcário para seu desenvolvimento sustentável, de 2004 a 2008, foi de cerca de 3 milhões de reais (metade recursos financeiros e metade contrapartidas não financeiras). Esse valor foi investido em trabalhos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, e inclui o projeto principal de implantação do "Arranjo Produtivo Local dos Calcários do Cariri", conhecido hoje como "APL da Pedra Cariri" e os derivados dele; desenvolvimento de máquinas e equipamentos, artesanato mineral e capacitação. Considerando os trabalhos de pesquisa e infraestrutura realizados anteriormente pelo governo do Estado do Ceará (1995-2003), o valor total investido no setor produtivo da Pedra Cariri, pode chegar a 5 milhões de reais. Os principais resultados desses investimentos foram:

- Implementação do modelo de governança e criação, em da Cooperativa de Mineração dos Produtores da Pedra Cariri - COOPEDRAS, com 37 cooperados, incluindo os dois municípios; Nova Olinda e Santana do Cariri.
- Regularização das áreas de extração em nome da cooperativa e alguns particulares, junto ao DNPM e conscientização da necessidade de proteção do patrimônio fóssilífero.
- Melhoria do conhecimento dos depósitos de calcário da região do Cariri Cearense, da geologia das fontes de lavra e introdução de metodologias e tecnologias para o melhor

aproveitamento das jazidas, com a inserção da mecanização, e levantamento dos rejeitos acumulados na região.

- Estudos, desenvolvimento e fabricação de equipamentos específicos para a obtenção de produtos de maior valor agregado, que serão instalados em Centrais de Beneficiamento, para uso dos cooperados.
- Identificação de alternativas de aproveitamento de rejeitos na geração de novos produtos:

A abundância do calcário laminado é tal que se podem encontrar pedreiras, em sua maioria desativadas, em toda a região (área aproximada de 40.000 hectares). As reservas estimadas atingem 275 milhões de toneladas (VIDAL; PADILHA; OLIVEIRA, 2005). Porém, a exploração acontece (salvo pequenas exceções) em áreas regularizadas durante o desenvolvimento do projeto, em nome da cooperativa dos produtores, com uma extensão de, aproximadamente, 4.500 ha, de acordo com os processos registrados junto ao Departamento Nacional da Produção Mineral. De acordo com Castro (2009), a produção total estimada é de 100.000 m<sup>2</sup>/mês, mostrando uma evolução positiva nos últimos anos o que também aconteceu com a produtividade do setor. Esse aumento é, muito provavelmente, devido à mecanização da produção nesses anos (Fig. 2). Por outro lado, é muito provável que essa intensificação da mecanização do setor, fosse um dos principais motivos para o fechamento de muitas frentes de lavra (que em 2003 eram 270 e hoje, em torno de 70), pois o produtor artesanal viu se incapacitado de concorrer, especialmente em termos de capacidade de produção com as empresas mecanizadas. Contudo, enquanto uns abandonavam a produção e, conseqüentemente, as pedreiras sem recuperar, outros tentavam a sorte em novas frentes de lavra, que também acabavam por abandonar. Isto tudo era feito com a anuência dos empresários já estabelecidos alugando parcelas de terreno e adquirindo a produção dos artesanais. Esse sistema que, mesmo não constatado em visitas realizadas, provavelmente continue com menor intensidade, dificulta a quantificação do tamanho real do setor e contribui grandemente com a desorganização das atividades produtivas e com os impactos ambientais negativos gerados (Fig.3).



Foto: CETEM/MCT

Figura 2 - Lavra da Pedra Cariri.



Foto: CETEM/MCT

Figura 3 -Rejeitos acumulados em frente de lavra

O mercado consumidor do calcário laminado está restrito quase exclusivamente à região nordeste do país, com algumas vendas para estados da região norte. Por outro lado, observou-se um incremento da exportação para fora do estado do Ceará nos últimos 4 anos. Já houve vendas para o Estado de Minas Gerais e até exportação para Europa, no entanto, os fatores qualidade e capacidade de produção da Pedra Cariri, estão muito aquém dos requisitos do mercado. Os insumos, atualmente, são adquiridos, principalmente, na região do Cariri e os

equipamentos no Cariri e no Estado de São Paulo. Nota-se aqui um fortalecimento da cadeia produtiva na região, pois em estudos anteriores, quase todos os equipamentos e insumos eram adquiridos fora do Estado (CASTRO, 2009).

Pese a todo esse otimismo e apesar das melhorias observadas na atitude dos produtores ao longo do desenvolvimento da implantação do APL, ainda há vários pontos de fraqueza que, se não forem fortalecidos, podem levar até a futura eliminação da atividade na região, face à vocação de conservação dos recursos naturais existente, e que são comentados a seguir.

O espírito cooperativo ainda não está consolidado. Embora tenha se conseguido formalizar uma única cooperativa para os dois municípios, nem todos os produtores se associaram, na verdade, pouco mais da metade das empresas, criando a impressão de que essa associação foi apenas aceita para se obter a legalização da atividade extrativa. Nota-se, também, que neste estágio incipiente de produção cooperativa, são poucos os mineradores que percebem os benefícios a médio e longo prazo acima indicados, observando-se que, para a maioria, a regularização apenas supõe a redução dos ônus de multas anteriormente pagas aos órgãos fiscalizadores e a facilidade de comercialização sem o intermédio dos "atravessadores". Considera-se essa atitude, no mínimo, muito perigosa, face ao futuro da atividade, hoje só permitida e apoiada pelo governo por causa da sua importância socioeconômica. Apesar dos esforços, na última década, das muitas instituições e profissionais que apoiaram e assessoraram os mineradores, técnica e legalmente, antigas práticas, como, por exemplo, o arrendamento irregular de áreas, a não observação dos limites estabelecidos nas concessões mineiras, a falta de cuidados com o meio ambiente e a segurança e saúde dos trabalhadores, e a concorrência desleal, continuam a acontecer.

A finalização do projeto de implantação do APL, supõe a retirada de instituições federais e alguns parceiros, sempre presentes e atuantes durante o mesmo que poderão continuar a colaborar, mas apenas eventualmente. Por isso, a COOPEDRAS deve, entende-se aqui, trabalhar para manter as parcerias locais e regionais já estabelecidas, o que é necessário para a manutenção do APL e procurar novas, criando seu modelo de governança, sendo o papel do SEBRAE de fundamental importância nesta fase.

Houve uma clara evolução da mecanização, sendo que, hoje, 95% por cento das pedreiras operam com serras de piso, tendo eliminado a extração manual das lajotas. Essa evolução ocorreu a partir de 2003, quando houve uma maior presença de instituições federais na região, que começavam se articular com as estaduais e locais para buscar soluções aos problemas encontrados nas áreas de exploração. Naquele ano de 2003, quando foi feito o primeiro levantamento das frentes de lavra, pouquíssimas pedreiras estavam mecanizadas; dois anos depois, em 2005, já eram 70% as que tinham adquirido as serras de piso e hoje, como já dito, 95% estão mecanizadas.

Observa-se uma tendência de fortalecimento da cadeia produtiva na região, esperando-se que o setor de fornecimento de equipamentos e insumos se desenvolva mais localmente, já que as áreas produtivas se encontram muito próximas do pólo conhecido como CRAJUBAR (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha), que apresenta continuo crescimento nos setores de indústria e serviços.

Os resultados obtidos na dissertação de Castro (2009) mostram que é possível se obter grandes melhorias no desenvolvimento sustentável da lavra do calcário do Cariri, sem se fazerem mudanças radicais no sistema atual. Contudo, destaca-se a necessidade de mudanças, algumas urgentes, especialmente nas áreas de meio ambiente e de segurança e saúde no trabalho, para evitar o fechamento das atividades. As operações de lavra podem e devem ser desenvolvidas concomitantemente com a recuperação ambiental, devolvendo ao meio as características naturais existentes antes da exploração dos calcários e deixando, ainda, áreas

reservadas para o turismo e a pesquisa científica. O aumento da produtividade das pedreiras e a diminuição da geração e acumulação de resíduos podem ser alcançados com pequenas mudanças tecnológicas e uma realocação das operações de beneficiamento. Os resultados obtidos também mostraram que os problemas ambientais gerados na produção do calcário laminado, podem ser considerados de relativamente simples solução técnica e podem ser minorados sem representar um alto custo para a cooperativa.

Os rejeitos que tanto problema causam, são, na verdade, subprodutos da extração de lajotas e como tais deveriam ser considerados e tratados pelos produtores. Pode-se considerar, como primeira estimativa, aqui calculada muito intuitivamente, mas sem se ter valores exatos, que a produção da Pedra Cariri gere, mensalmente, entre 5.000 e 7.000 t/mês de calcário aproveitável pela indústria e umas 3000 t de rejeitos não aproveitáveis que devem ser usados para a recuperação das áreas exploradas. Além desses usos, o rejeito das pedreiras deverá ser utilizado na fabricação de mosaicos e listelos, produtos de alto valor no mercado nacional e internacional, com as novas máquinas (refilatrizes) agora à disposição da cooperativa. Por outro lado, a prevista implantação um Núcleo de Artesanato Mineral, deverá gerar vendas locais de produtos artesanais. Em resumo, espera-se que o aproveitamento dos rejeitos contribua com a geração de emprego e renda, mediante a diversificação e a comercialização local de subprodutos, alavancando o desenvolvimento social.

## **ORDENAMENTO TERRITORIAL**

O conceito de ordenamento territorial, utilizado desde os anos 50 do século XX pelas políticas públicas, como ferramenta para a racionalização do uso dos recursos de um determinado território (INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2006), foi evoluindo ao longo dos anos junto com o conceito e o entendimento do "uso racional dos recursos". Assim, hoje, envolve e é direcionado pelo conceito de desenvolvimento sustentável, sendo a Política de Ordenamento Territorial per se a principal ferramenta para se alcançar esse objetivo.

O ser humano, historicamente, ordenou o território baseando-se na capacidade de aproveitamento econômico de seu entorno o que levou a sua ocupação e uso desordenado, gerando desequilíbrios territoriais que os mecanismos de mercado não conseguem equilibrar. Assim o ordenamento do território justifica-se como método para combater e prevenir esses problemas, tendo como objetivos:

- o desenvolvimento socioeconômico equilibrado das regiões,
- a utilização racional do território e a gestão responsável dos recursos naturais,
- a articulação dos órgãos setoriais do mesmo nível e das diversas esferas administrativas de decisão, e
- a melhoria da qualidade de vida. (ORDOÑEZ, 2002).

Configura-se então como uma função de interesse público (superior aos interesses individuais) que, como tal, deve ser regida pela administração pública e de acordo com Gómez Orea (2002, apud ASPILLAGA, 2006, p. 13), seu modelo conceitual tem como base a sensibilidade ambiental, constituindo-se da seleção de atividades que promovam o desenvolvimento, de forma coerente com as características do espaço, da organização espacial das atividades selecionadas, considerando a integração ambiental e a funcionalidade, e do controle e regulação dessas atividades de acordo com critérios de sustentabilidade. No Brasil, a construção da Política Nacional de Ordenamento Territorial começou, somente, em 2003, sob a coordenação do Ministério da Integração Nacional, estando ainda em fase de construção. Devido a ao extenso território do país e à necessidade de diminuir as diferenças regionais

existentes, principalmente mediante a desconcentração de riqueza e população, a política de ordenamento territorial deve se articular com a de desenvolvimento regional. Embora ainda não consolidada, já conta com instrumentos para sua implementação, como os planos regionais e locais de ordenação do território, o zoneamento ecológico-econômico, a avaliação de impactos, a criação de espaços territoriais especialmente protegidos e os sistemas de informações (RUCKERT, 2007).

A mineração de calcário laminado na região é, sem dúvida, uma das atividades a serem consideradas como promotoras de desenvolvimento socioeconômico em qualquer plano de ordenamento territorial, pois se constitui, atualmente, na principal fonte de emprego e renda dos municípios envolvidos. A exemplo do que acontece em outros países da América do Sul, este tipo de mineração, de pequeno porte, como bem indica Calaes (2006), permite a ocupação de ambientes não propícios a outras atividades, acelerando os processos de civilização e melhoria da qualidade de vida, contribuindo com o combate à marginalização e a pobreza, gerando, indiretamente, considerando a média da mineração, 12 postos de trabalho para cada pessoa empregada diretamente nas atividades de extração. No entanto, como acontece com o resto da mineração, os impactos ambientais gerados pela atividade extrativa, sendo muito mais visíveis que os gerados em outras atividades econômicas, fazem que, muitas vezes, tanto a sociedade quanto os órgãos públicos, responsáveis pelo ordenamento territorial, priorizem outras atividades, especialmente quando houver superposição no mesmo espaço físico, gerando conflito de uso e ocupação do solo. O APL de Calcários do Cariri encontra-se, nesse sentido, numa delicada situação, por encontrar-se suas jazidas em uma região que conta com características únicas, com um grande potencial turístico,

*...sendo abrigo de um importante parque ecológico (a primeira floresta tombada do País, com 38.262 hectares e criada em 1946 pelo Decreto Lei 9226) em um ecossistema de serra úmida, denominado Floresta Nacional do Araripe – FLONA, sob administração do IBAMA. A região da chapada do Araripe é extremamente privilegiada pela paisagem exibida nas formas de relevo, nas fontes de água mineral, pela vegetação e por um clima serrano relativamente ameno. Lá também existem dois museus de fósseis nas cidades de Crato e Santana do Cariri. Além disso, a área do Vale do Cariri (incluindo as cidades de Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte) já possui estratégias bem desenvolvidas voltadas para a área do turismo, como comércio de artesanatos, festas religiosas, clubes recreativos, boa rede hoteleira.etc. Tais aspectos contribuem para que atividades eco-turísticas sejam facilmente incrementadas na economia regional (VIANA; NEUMANN, 1999).*

A região conta, ainda, com o “Geopark Araripe”, o qual, desde 2006, integra a Rede Mundial de Geoparks da UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Ciência, a Educação e a Cultura, sendo o primeiro Geopark das Américas.

A extração da Pedra Cariri, pelas características peculiares da região onde se localiza, ver-se-á afetada pela implantação de vários planos e projetos, hoje em andamento, podendo ser atingida positiva ou negativamente por eles. Alguns exemplos são: O Plano de Ação da Mesorregião da Chapada do Araripe, o Diagnóstico Geoambiental da Mesorregião Sul Cearense, os Planos de Manejo da APA Araripe e da FLONA Araripe, os Planos de Ação Turística de Nova Olinda e Santana do Cariri, os Planos de Desenvolvimento Regional de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, o Zoneamento Agroecológico do Ceará, o Plano de Consolidação do Geopark Araripe e, ainda, a possível criação de Unidades de Desenvolvimento Regional, como proposto por Bentolila (2002).

## **CONFLITOS DE USO COMO OPORTUNIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO APL**

Apresentam-se a seguir, de forma resumida, os potenciais regionais que poderiam ser conflitantes da mineração de calcário, mas com os quais o APL da Pedra Cariri pode se integrar, colaborando com o desenvolvimento regional.

### **GEOPARK ARARIPE**

O Geopark Araripe, o primeiro das Américas da Rede Mundial de Geoparks da UNESCO, abrange uma área de mais de 5.000 Km<sup>2</sup>, atingindo seis municípios da região. Sua gestão está a cargo do Governo do Estado do Ceará, representado pela Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Educação Superior (SECITECE), e é coordenado pela Universidade Regional do Cariri (URCA). Constitui-se de uma rede de Unidades de Conservação da Natureza, denominadas de Geotopes que correspondem, cada uma, a um estrato e tempo geológico definido, representando, em seu conjunto a origem, evolução e estrutura atual da Bacia Sedimentar do Araripe. Atualmente há 9 Geotopes, representativos da sequência litoestratigráfica, denominados, da base para o topo: Granito, Devoniano, Missão Velha, Batateira, Nova Olinda, Ipubi, Santana, Arajara e Exú. Quatro dessas nove unidades encontram-se protegidas pelo Decreto Estadual nº 28.506 de 01/12/2006, que as categoriza como Unidades de Conservação Ambiental Estadual, de Proteção Integral: Exú, Arajara, Santana e Devoniano (CEARÁ, 2006). Além dos 9 geotopes, mais 59 pontos de interesse geológico, paleontológico, arqueológico e natural também foram selecionados, dentro da área do Geopark. Possui um escritório central na cidade de Crato e o Museu de Paleontologia da URCA, como unidades fundamentais, mediante as quais desenvolve projetos de caráter social, principalmente visando a conscientização, educação e capacitação para a conservação do patrimônio regional. Trabalha em articulação com entidades públicas, privadas, não governamentais e do conjunto da sociedade e sua participação na implementação do APL da Pedra Cariri, junto ao DNPM, foi muito importante para o sucesso do projeto.

Inserido na Rede Mundial de Geoparks, já fechou um acordo de pesquisa com a China, para estudo conjunto de espécimes fósseis achados em ambos países e que se mostraram relacionados. Atualmente está em fase de consolidação, contando com fortes investimentos nacionais (R\$ 650.000 para reforma e ampliação do Museu, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico (IPHAN) e R\$ 800.000 do Ministério da Integração, para a sede de Crato) e internacionais (empréstimo de US\$ 12 Milhões, do Banco Mundial) e foi instituído um comitê multidisciplinar para a realização desses objetivos.

Melhorias infraestruturais, conservação dos geotopes e instalação de áreas receptivas para os turistas, são algumas das principais metas, além, é claro, a educação e capacitação, tendo já sido anunciada a formação de 300 educadores ambientais e 210 gestores ambientais, pelo Governo do Estado do Ceará (UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI, 2009a,b,c).

### **FLORESTA NACIONAL DO ARARIPE - FLONA**

Criada em 1946, a "Floresta Nacional do Araripe", com, aproximadamente, 500km<sup>2</sup> de área, nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Barbalha e Jardim, e gerenciada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), é o primeiro projeto de conservação ambiental do Brasil, a primeira Floresta Nacional (FLONA) do país e, durante esses 60 anos vem protegendo espécies ameaçadas. A biorregião da Chapada do Araripe pode se considerar como uma ilha na região nordestina, sob um clima tropical úmido, que inclui 5 sistemas fitogeográficos: floresta de transição úmido/cerrado (48,53% da área), cerrado (27,49%), floresta úmida degradada pelas queimadas (11,52%), floresta úmida semi-



perene (10,95%) e carrasco (1,52%). Além disso, ao redor da área da FLONA, desenvolve-se a, hoje, endêmica caatinga. A FLONA Araripe é o hábitat natural de 88 espécies de aves e muitos mamíferos, entre os que se incluem alguns em vias de extinção, muitos répteis, alguns anfíbios e uma grande quantidade de insetos. Trata-se de uma Unidade de Conservação de Uso Direto, na qual se permitem os usos para pesquisa científica, educação ambiental, turismo ecológico e uso sustentável de seus recursos por moradores da região.

### **APA ARARIPE**

A Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe (APA Araripe) foi criada pelo Decreto no 10.257, de 4 de agosto de 1997, e ocupa uma área de algo mais de 10.000 km<sup>2</sup>, abrangendo 15 municípios do Estado do Ceará, 11 de Pernambuco e 7 do Piauí. Trata-se de uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, com o qual diversas atividades são permitidas, desde que consideradas no Plano de Manejo e aprovadas pelo IBAMA. O objetivo da APA Chapada do Araripe é (BRASIL, 1997) proteger a fauna e flora, especialmente as espécies ameaçadas de extinção; garantir a conservação de remanescentes de mata aluvial, dos leitos naturais das águas pluviais e das reservas hídricas; garantir a proteção dos sítios cênicos, arqueológicos e paleontológicos do Cetáceo Inferior, do Complexo do Araripe; ordenar o turismo ecológico, científico e cultural, e as demais atividades econômicas compatíveis com a conservação ambiental; incentivar as manifestações culturais e contribuir para o resgate da diversidade cultural regional; e assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais, com ênfase na melhoria da qualidade de vida das populações residentes na APA e no seu entorno, que se estima em 700.000 habitantes. O Plano de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, que está em fase de elaboração, estabelecerá o zoneamento ambiental da área e regulamentará o seu uso e ocupação, para preservar o patrimônio da Chapada do Araripe. Além da conscientização da população sobre a importância do uso racional dos recursos naturais, o plano pretende estimular a criação de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI, 2005).

### **PARQUE ARAJARA**

O Parque Arajara é uma Reserva Particular do Patrimônio Natural, de 27 ha de área, no município de Barbalha, na qual se desenvolve um projeto turístico, com um parque temático aquático e infraestrutura hoteleira no parque ecológico. Dentro da área de proteção do parque há 214 fontes naturais e algumas espécies animais ameaçadas de extinção, além da Gruta Arajara, com águas navegáveis em pequenas corredeiras.

### **PALEONTOLOGIA**

Com relação ao potencial para o turismo geocientífico, na região dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda tem-se uma das mais fantásticas ocorrências fossilíferas de que o mundo tem conhecimento, a Formação Santana. Nessa unidade encontram-se dois *Lagerstätten* de importância mundial: o Membro Romualdo e o Membro Crato. Ambos sítios caracterizam-se por apresentar uma grande variedade de espécimes, em excelente estado de preservação e em grande quantidade. O sítio paleontológico do Araripe é um dos mais ricos do Brasil e do mundo e representa a antiga geografia e antigo ambiente, com sua fauna e flora, que remontam ao “Cretáceo Inferior”, com cerca de 110 M.a., constituindo uma verdadeira janela do passado do planeta. Os trabalhos de Martill (1993) e Moura e outros (2006) mostram listas atualizadas dos principais tipos de espécimes fósseis encontrados. Os fósseis do Período Cretáceo podem ser encontrados ao longo de afloramentos e pedreiras da região, bem como estão expostos no Museu de Paleontologia da URCA, em Santana do Cariri. A primeira descrição de um fóssil da região foi a do peixe *Rhacolepis*, publicada no livro *Reise in Brasilien* (Viagem pelo Brasil, em alemão), entre 1823 e 1831, por Spix e Martius, dois naturalistas alemães. Ainda no século XIX,

os fósseis do Araripe despertaram interesse de outros pesquisadores, como o botânico inglês Charles Gardner, o suíço Louis Agassiz e já no início do século XX, John Branner e David Jordan (UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI, 2005; CARVALHO; SANTOS, 2005; MARTILL, 2007 e outros). Em quase dois séculos de pesquisas paleontológicas, já foram publicados centenas de trabalhos, em diferentes línguas. Ainda há muito a descobrir, especialmente se considerarmos que as duas unidades fossilíferas podem ter uma extensão de, pelo menos, 3.000 km<sup>2</sup>.

A impressionante preservação dos organismos fossilizados, a diversidade e a abundância, são singulares para os fósseis da região do Araripe e, principalmente, nos municípios de Santana e Nova Olinda onde a mineração dos calcários revela, a cada dia, novos achados. As visitas são contínuas e, cada vez, mais estudiosos, pesquisadores, cientistas e turistas, nacionais e internacionais, visitam a região, as pedreiras e os Museus de Paleontologia da URCA, em Santana do Cariri e o do DNPM, na cidade de Crato. De acordo com os números dos livros de visitantes do museu da URCA e uma pesquisa realizada com questionário ao público visitante (300 aplicações), somente no ano de 2005, aproximadamente 19.000 mil pessoas foram a região com o intuito de visitar os sítios e descobrir o encantamento que está contido na riqueza da vida fossilizada. De acordo com essa pesquisa, 99,9%, informaram que se houvesse infraestrutura para pernoites (hotel e ou pousadas), permaneceriam no local por, no mínimo, 3 dias (VIDAL; CAMPOS, 2008). Apesar de apresentar um enorme potencial para o geoturismo e já haver demanda, a região ainda carece de infraestrutura apropriada para os turistas.

O Membro Romualdo, no topo da Formação Santana, hospeda grande quantidade e variedade de fósseis, os quais são representados por bivalves, gastrópodes, ostracodes, insetos, aracnídeos, equinóides, peixes, répteis (tartarugas, crocodilianos, pterossauros e dinossauros) e aves, além de vegetais (ver Figura 8). Aparecem em concreções carbonáticas e sua principal característica é que eles são tridimensionais, conservando, inclusive, seus órgãos internos. Pela sua excelente qualidade e por serem relativamente fáceis de se achar, durante longo tempo foram alvo do contrabando, podendo-se encontrar fósseis do Membro Romualdo em quase todas as coleções paleontológicas do mundo. Nos últimos anos, uma forte fiscalização e os programas de conscientização da URCA e do DNPM, tem produzido a diminuição da venda ilegal de espécimes, assim como provocado reclamações da comunidade científica internacional (MARTILL; HEADS, 2007). Os calcários laminados do membro Crato também são muito fossilíferos, com mais de 600 espécies (MOURA *et. al.*, 2006) possuindo uma grande variedade de plantas, que incluem pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, além de moluscos, crustáceos, aracnídeos, insetos, peixes, anfíbios, répteis e aves. Existem elementos suficientes para se acreditar que os mais antigos exemplares de plantas com flores estejam representados nos estratos do membro Crato (VIDAL; CAMPOS, *op. cit.*) e são encontradas também inúmeras formas de transição entre as gimnospermas e as angiospermas. Dentre os insetos, destacam-se as libélulas em excelente estado de conservação e símbolo da região, e entre os peixes, tem-se, principalmente, a espécie *Dastilbe elongatus*. Pterossauros e dinossauros têm sido encontrados, também, no membro Crato. De acordo com Kellner e Campos (2007) 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.

## ARQUEOLOGIA E ANTROPOLOGIA

Acredita-se que, fugindo da aridez do sertão e atraídos pelas fontes naturais da Chapada do Araripe, bandos de caçadores e coletores pré-históricos tenham habitado, em épocas diferentes, ou tenham convivido, na região. Os registros existentes, ainda não muito estudados, integram as coleções do Museu Histórico do Crato e do Memorial do Homem Kariri, da Fundação Casa Grande, em Nova Olinda, e entre eles incluem-se: peças líticas e cerâmicas, pinturas rupestres, e restos de artefatos líticos e cerâmicos (LIMAVERDE, 2006). Foram

identificados 7 sítios com registros de pinturas, gravuras e gravuras pintadas, rupestres, em diferentes localidades. Destacam-se o sítio Pedra do Letreiro, no município de Mauriti, com pinturas e gravuras em um grande paredão de arenito da Formação Mauriti e as gravuras, pintadas ou não, do Sítio Santa Fé, no município de Crato, considerado um sítio de rituais religiosos. Nos calcários laminados, encontram-se pinturas rupestres (Fig. 4), em dois locais do distrito de Tatajuba (LIMAVERDE, 2007; URCA, 2005).

Quanto às tribos indígenas, destaca-se a tribo Cariri, pertencente à grande Nação Cariri, que ocupou quase todo o nordeste do Brasil e da qual a região herdou o nome, com apenas alguns remanescentes na Missão do Miranda. Os habitantes, hoje, da região, são fruto da miscigenação com os fazendeiros e agricultores de Sergipe, Pernambuco e Bahia, os quais, conservando algumas das tradições culturais daquele povo e misturando-as às suas próprias, conformaram o que hoje se conhece como cultura cabloco-cariri (CARIRY, 2008). A tribo Cariri, da qual há restos cerâmicos na Chapada do Araripe e da qual se sabe tinha áreas sagradas na chapada para seus rituais religiosos, é famosa por ter sido uma das mais resistentes ao processo de "civilização".

Contudo, várias das tribos nordestinas conhecidas viveram na Chapada do Araripe e seu entorno, como mostra a descrição de Studart (1939, p.124 apud LIMAVERDE, *op.cit.*):

No alto sertão do Cariri viviam tribos irrequietas, cuja braveza indômita lhes propiciara a posse de tão ricas e opulentas terras. Aí vagueavam, entre outras, os Cariús, que ocupavam as nascentes do Cariús e Bastiões, os ferozes calabças, da margem esquerda do Salgado, os Carcuassús e a nação erradia dos Cariris, Caririés ou Kiriris. Estes últimos silvícolas, oriundos da Chapada da Borborema, vieram habitar o vale e a serra do Araripe, em cujas faldas íngremes, emboscados, resistiram opinosamente ao invasor branco.

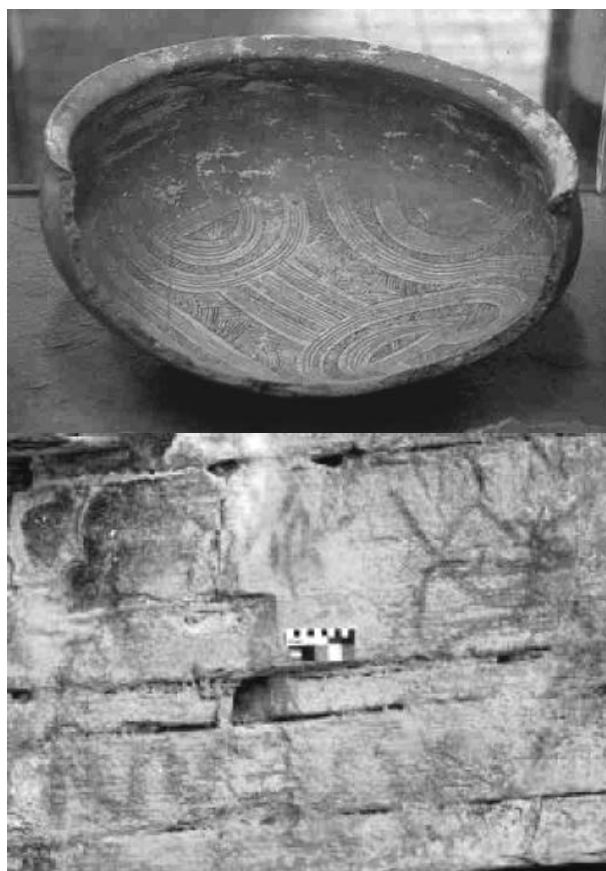


Figura 4.- Gravuras pintadas (esquerda), cerâmica (direita acima) e pinturas rupestres nos calcários laminados (direita abaixo). Extraído de Universidade Regional do Cariri (2005) e Limaverde (2007)

O registro arqueológico e antropológico da Chapada do Araripe, praticamente inexistente, representa uma área de estudo importante e necessária, tanto para o resgate da história e cultura do povo do Cariri cearense, quanto para o estudo das rotas migratórias desde os tempos pré-históricos no território brasileiro.

## **GEOTURISMO**

O Geoturismo, que associa a preservação do patrimônio geológico com o turismo é um segmento do setor turístico com grandes possibilidades no Brasil. Na Chapada do Araripe, em especial, atrair o turista de forma que contribua com a conservação do patrimônio geológico, paleontológico e mineiro, mediante o entendimento do significado desses, deve ser um objetivo prioritário para o desenvolvimento regional. Além de todas as vantagens regionais de seu espetacular patrimônio geológico e paleontológico, o patrimônio natural da região é imenso, contando com belas paisagens naturais, fontes e estâncias hidrotermais, cavernas, parques e florestas, alguns desses itens já comentados. Há, também, vários núcleos de artesanato e uma tradição importante de turismo religioso e cultural, especialmente em Juazeiro do Norte, onde todos os anos mais de dois milhões de católicos sobem a Serra do Horto, para visitar o santuário do Padre Cícero.

## **GEOPATRIMÔNIO**

Visualiza-se um desenvolvimento regional fundamentado no maior valor da região, que é seu patrimônio natural, geológico e paleontológico, possuindo todas as características necessárias para ser considerado como patrimônio mundial. Entende-se, neste trabalho, que a Chapada do Araripe deverá, no futuro, requerer seu status de Patrimônio da Humanidade junto à Unesco, obtendo maior força para sua conservação, como foi obtido recentemente pelo Geopark chinês de Mt. Sanqingshan (GLOBAL GEOPARKS NETWORK, 2008). Sua categorização, hoje, poderia ser dificultosa podendo ser inscrita como Patrimônio Natural (pela geologia e geomorfologia), Patrimônio Cultural (pela paleontologia) ou, ainda, Misto, como vem acontecendo com outros sítios mundo afora, cuja classificação, entende-se aqui seria a de GeoPatrimônio, categorização ainda não estabelecida pela UNESCO, mas em fase de discussão. De qualquer forma, os sítios que adquirem esse status de proteção, por definição, devem ter um Valor Universal Excepcional, que, em palavras da comissão do Patrimônio Mundial:

*refere-se a que tem um significado cultural, natural ou ambos, que é tão excepcional que transcende às fronteiras nacionais e é importante para as gerações presentes e futuras da humanidade. Assim sendo, a proteção permanente desse patrimônio tem a maior importância para toda a comunidade internacional (WORLD HERITAGE CENTER, 2005, p. 23)*

Sem nem sequer considerar os sítios fossilíferos dos Membros Crato e Romualdo, que por si só, já deveriam considerados patrimônio da humanidade, pode-se observar que, a região cumpre vários dentre os 10 critérios de seleção da UNESCO, sendo estes:

(vii) – conter fenômenos naturais excepcionais ou áreas de beleza natural e estética de excepcional importância;

(viii) – ser um exemplo excepcional representativo de diferentes estágios da história da Terra, incluindo o registro da vida e dos processos geológicos no desenvolvimento das formas terrestres ou de elementos geomórficos ou fisiográficos importantes;

(ix) – ser um exemplo excepcional que represente processos ecológicos e biológicos significativos da evolução e do desenvolvimento de ecossistemas terrestres, costeiros, marítimos ou aquáticos e comunidades de plantas ou animais;

(x) – conter os mais importantes e significativos habitats naturais para a conservação *in situ* da diversidade biológica, incluindo aqueles que contenham espécies ameaçadas que possuem um valor universal excepcional do ponto de vista da ciência ou da conservação. (UNESCO, 2007, p.42)

Ainda, estudos arqueológicos na região, não realizados, porém necessários, poderiam permitir um maior conhecimento da cultura Kariri, da qual há já alguns registros. Nesse caso, poderia se considerar incluída também o critério "(iii) – mostrar um testemunho único, ou ao menos excepcional, de uma tradição cultural ou de uma civilização que está viva ou que tenha desaparecido" (UNESCO, *op.cit.*)

Dentro do arcabouço conceitual sendo atualmente discutido pelo Comitê do Patrimônio Mundial para o Patrimônio Geológico, a Chapada do Araripe apresenta 3 dos 13 itens propostos como de Valor Geológico Universal Excepcional, que são: Feições tectônicas e estruturais, Sítios estratigráficos e sequências litológicas que proporcionam um registro de eventos chave na história da terra e Sítios fossilíferos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A situação atual é muito favorável para o desenvolvimento da região do Cariri cearense, incluída em diversos projetos e contemplada com investimentos regionais, nacionais e internacionais. Como resultado desses investimentos, espera-se obter muitas melhorias na infraestrutura, no saneamento básico, na educação, na promoção do turismo e em atividades econômicas vocacionais, na preservação de seus recursos ambientais e na consolidação do Geopark. Considera-se aqui que o desenvolvimento sustentável das atividades de mineração do calcário do Cariri, dependerá, em grande parte, da sua efetiva integração no cenário de conservação e geoturismo que vem se configurando na região.

O ordenamento territorial, como instrumento de administração pública, foi aqui configurado como a seleção de atividades que promovam o desenvolvimento, de forma coerente com as características do espaço, a organização espacial das atividades selecionadas, considerando a integração ambiental e a funcionalidade, e o controle e regulação dessas atividades de acordo com critérios de sustentabilidade. Na seleção dessas atividades, e de forma semelhante ao que acontece com o resto da mineração, os impactos ambientais gerados pela atividade extrativa, sendo muito mais visíveis que os gerados em outras atividades econômicas, fazem que, muitas vezes, tanto a sociedade quanto os órgãos públicos, priorizem outras atividades, especialmente quando houver superposição no mesmo espaço físico, gerando conflito de uso e ocupação do solo.

Para diminuir esse efeito no planejamento e gestão do poder público, no que diz respeito às atividades de mineração, o setor deve, primeiro, resolver os problemas ambientais para depois se "fazer visível" mostrando e documentando tecnicamente aspectos que fundamentem sua adequada inclusão nos planos de manejo. Esses documentos incluem aspectos da situação legal (áreas oneradas por títulos ou requerimentos no DNPM, cadastros de licenciamento ambiental); aspectos técnicos (métodos de lavra e de beneficiamento, produção e capacidade instalada, projetos de expansão, áreas operacionais, impactos ambientais e medidas de controle, segurança e salubridade, reabilitação de áreas mineradas) e aspectos econômicos (geração de emprego e renda, tributação, procedimentos gerenciais, mercado, aglomeração, verticalização, oportunidades) (SINTONI, 2006).

A maioria desses documentos, excetuando-se estudos geológicos e econômicos de detalhe, já foram elaborados por diversas instituições, mas a cooperativa ainda não tem a estrutura necessária para manter seu centro de informações e documentação. Por isso, sugere-se aqui, um esforço especial da coordenação técnica do APL, ainda indefinida após a finalização do projeto de implementação do APL, mas que deverá alguma instituição de pesquisa local, no sentido de juntar as informações (disponíveis e atualizadas) e elaborar um documento técnico de apresentação do APL para os diversos órgãos gestores e outros envolvidos na elaboração de planos de ordenamento e dar-lhe a visibilidade necessária, uma voz importante para o futuro do setor na região.

Parece claro que o desenvolvimento da região do Cariri cearense há de se basear no turismo sustentável. Praticamente todos os planos, projetos e investimentos para a região direcionam-se nesse sentido. Dentre eles, apenas dois, o Geopark Araripe e o Plano de Ação da Mesorregião da Chapada do Araripe, contemplam e incentivam, explicitamente, o fortalecimento do APL da Pedra Cariri. No segundo caso, o Plano de Ação da Mesorregião, apenas considera o fortalecimento do APL, pela inserção de tecnologia e a melhoria da infraestrutura necessária para isso.

O Geopark Araripe, no entanto, criado e gerido por geólogos e paleontólogos da região, principalmente da URCA, já desde o início da preparação do projeto apresentado à Unesco, mostrou seu apoio aos produtores de calcário, inclusive enfrentando opiniões contrárias à mineração que consideravam esta como destruidora do patrimônio paleontológico. Além de incluir em seus pontos de interesse para visitação áreas em produção, é parceiro ativo do APL organizando cursos, palestras e seminários de educação e formação para os mineradores e a comunidade, sobre a importância do patrimônio, sua preservação, os procedimentos adequados de coleta e encaminhamento de fósseis para os órgãos competentes e sobre turismo geocientífico.

A louvável atuação da URCA, em especial dos responsáveis do Geopark e do DNPM, em sinergia, está criando a apropriação de uma cultura antes não existente na região. Observa-se, hoje, tanto entre os mineradores quanto nas comunidades, o início de uma identificação cultural com seu patrimônio fossilífero e uma assimilação do que poderíamos chamar de "uso sustentável dos fósseis". O motor dessa mudança, na verdade de cunho econômico, é o entendimento de que "o fóssil que permanece na região proporcionará, a médio e longo prazos, um retorno econômico muito maior do que aquele que é vendido ilegalmente, mesmo por um alto valor, mas que sairá da região" (Alexandre F. Sales, informação verbal).

Considera-se que esse apoio do Geopark ao adequado desenvolvimento das pedreiras é totalmente justificável, não apenas pela importância econômica dessa atividade para a região, em termos de emprego e renda, mas também como mais uma força para a manutenção do Geopark a longo prazo, desde que os mineradores estejam bem orientados e conscientizados da importância de seu papel no contexto da preservação do patrimônio natural, geológico e paleontológico. Efetivamente, o avanço das pedreiras não só promove o aparecimento de fósseis e expõe seções e áreas de interesse geológico, mas também a presença dos trabalhadores nessas áreas impede tanto a destruição do patrimônio geológico quanto o comércio ilegal de fósseis. Por outro lado, as necessidades logísticas da mineração devem contribuir com a infraestrutura para o turista: água, energia elétrica e manutenção de estradas e caminhos de acesso a pontos de interesse.

Com simples medidas e de baixo custo, como as sugeridas por Castro (2009) para o planejamento da lavra que inclui a abertura de áreas para visitação turística, a mineração poderá contribuir de forma importante com o avanço do conhecimento científico da evolução da terra e a vida nela. Por outro lado, essa abertura para visitação dará uma maior visibilidade ao seu produto a Pedra Cariri, podendo aumentar a demanda por seus produtos principais e

gerar lucro, também, com a venda local de subprodutos artesanais. A visitação programada de alunos e instituições de ensino contribuirá com o desenvolvimento social, já que o estudo da geologia, em campo, desperta o interesse pela exploração e observação, serve para acompanhar a história da filosofia e da ciência e motiva para desenvolver habilidades em análises científicas, matemática e manejo de dados, além de servir para a aquisição de atitudes positivas a respeito da conservação e o meio ambiente.

A organização e o planejamento da lavra na região, além de permitir melhoras produtivas e meio ambientais, será um subsídio importante para a definição de políticas de ordenamento territorial, considerando a concorrência entre os possíveis usos do solo, na atualidade e no futuro, principalmente entre seu uso para a extração mineral e em projetos de turismo geocientífico. A mineração de calcário laminado pode ser feita com impactos negativos mínimos ao meio ambiente e com impactos sociais muito positivos.

O APL Calcários do Cariri, ou APL da Pedra Cariri, como acabou sendo denominado, representa um esforço conjunto de governo e sociedade, em torno da mineração de calcário na região do Cariri Cearense, visando sua sustentabilidade. O APL é formado pelos mineradores, por órgãos de governo municipal, estadual e federal, por instituições de pesquisa e ensino, por ONGs, por fornecedores de equipamentos e insumos, em fim, por todos os interessados no desenvolvimento local e regional. O apoio institucional para a formação do APL, nestes últimos 5 anos, justifica-se pela importância socioeconômica da exploração da Pedra Cariri, considerada como um possível alicerce para o desenvolvimento regional e a internalização da população.

O processo de regularização das áreas de extração do calcário no Cariri pode ser considerado, no momento, como o grande marco da atividade e seu futuro. A regularização das áreas e a formalização das firmas, agora associadas em uma cooperativa legalmente instituída, a COOPEDRAS, proporcionará aos produtores facilidades de crédito (empréstimos e financiamentos) junto às instituições de fomento e permitirá um melhor controle do preço de venda e a expansão de seu mercado para além das fronteiras atuais. A formalização das empresas contribuirá, também, com a arrecadação de impostos municipais, estaduais e federais, gerando retornos sociais. Agora, já regularizados, deverão ir criando uma nova filosofia de trabalho, em especial, no que se refere ao meio ambiente e à proteção do patrimônio geológico e paleontológico. As orientações e treinamentos recebidos e a fiscalização constante a que estão submetidos, acredita-se que acabarão por transformá-los em agentes conscientizadores, identificando-se com o patrimônio natural de que dispõem e contribuindo com sua proteção. Ainda, se interagirem com o Geopark, como foi sugerido aqui, incluindo visitação às pedreiras para turistas e escolares, contribuirão com a educação e o desenvolvimento social.

Tecnologicamente, deverá haver mudanças importantes e de forma rápida, a partir do momento em que as Centrais de Beneficiamento comecem a funcionar. Mesmo sendo poucos equipamentos para processar toda a produção, as melhorias de qualidade e a valorização econômica da Pedra Cariri, muito provavelmente, farão com que a cooperativa adquira mais equipamentos e acabe por eliminar os métodos tradicionais.

Entretanto, essa oportunidade poderia se transformar em ameaça se a inserção no mercado desse produto, de maior qualidade e preço bem mais elevado, não for acompanhada de fortes ações de marketing. Para que tanto os antigos clientes quanto os novos aceitem essa "Nova Pedra Cariri", esta deverá ser devidamente apresentada, caso contrário, poderá haver um retrocesso com o retorno de produtores informais que ofereçam a velha e barata Pedra Cariri.

Os empresários desconhecem o mercado para o qual produzem, acreditando que concorrem apenas pela qualidade do produto e não mostrando interesse em participar em feiras ou

eventos de promoção e marketing. Lembra-se aqui que o mercado de rochas ornamentais e de revestimento é muito diferente ao de outros produtos minerais; é um mercado baseado mais na estética do material e o gosto do comprador que nas características tecnológicas da rocha, o que faz do marketing uma ferramenta fundamental para o sucesso. Enxerga-se aqui, como melhor estratégia de marketing, a associação da marca Pedra Cariri à riqueza natural da região de onde é extraída e mostrando que sua exploração não só não destrói essa riqueza, como ajuda a preservá-la. Tratando-se de um material sem semelhantes no mercado brasileiro, com extensíssimas reservas e facilidade de extração e recuperação ambiental, não se consegue vislumbrar outro futuro se não o do desenvolvimento do setor. Além disso, é um tipo de material com grande aceitação no exterior e, inclusive, na pior fase de crise do setor de rochas ornamentais, as únicas exportações que aumentaram, nos anos de queda, foram as de materiais carbonáticos (ABIROCHAS, 2009). O registro da marca Pedra Cariri, com indicação de origem na Chapada do Araripe, junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI, poderá ser o melhor cartão de visita para essa "Nova Pedra Cariri" e seria melhor ainda se pudesse ser associada ao Geopark Araripe.

O APL conta com apoio governamental federal, estadual e local, porém, esse apoio visa o desenvolvimento sustentável da atividade o que acarreta uma fiscalização mais rígida. Assim, continuam a serem frequentes as notícias de fechamento de pedreiras e aplicação de multas pelos compromissos não cumpridos. Observa-se que, parte disto, se deve à inadequada articulação entre alguns órgãos e agências de governo pois, logicamente, o processo de adequação dos mineradores não pode ser instantâneo. O problema principal que se observa aqui é, porém, que a atitude da maioria dos produtores, ainda não mostra esse interesse em mudar o comportamento. Assim, faz-se aqui uma chamada especial aos parceiros locais e regionais do APL, em contato contínuo como os produtores e com grande capacidade e experiência no apoio aos arranjos produtivos, especialmente no que se refere ao cooperativismo, como o SEBRAE, para continuarem seu trabalho junto ao resto de parceiros na região.

Além de precisar de muito apoio no que se refere à capacitação empresarial, a cooperativa deve entender que, com a regularização das áreas de exploração em seu nome, tudo o que acontecer nelas será sua responsabilidade, motivo pelo qual, terá, necessariamente, que agir como normalizadora e fiscalizadora da lavra nas pedreiras. De igual forma, deve garantir que o processo de comercialização, tradicionalmente desleal, baseado no menor preço, não continue, já que com a formalização, a cooperativa terá que arcar com custos maiores, especialmente no início, para se adequar à legalização, sendo a potencial perdedora se permitir que a guerra de preços se estabeleça.

Quanto ao DNPM, cujos esforços para a manutenção da produção da Pedra Cariri, o levaram até a contornar o problema legal que os fósseis presentes nos calcários reapresentam, espera-se que continue a apoiar, porém, os mineradores não podem esquecer que o DNPM é órgão responsável pelas atividades de mineração e pela proteção do patrimônio fossilífero e, como tal, tem a obrigação de fiscalizar. A cooperativa deve se esforçar e orientar os mineradores para cumprirem os compromissos adquiridos, tanto na proteção dos fósseis encontrados nas pedreiras, quanto no que se refere a emolumentos e taxas a pagar pelas áreas de exploração e o respeito aos prazos estabelecidos para a apresentação de documentos legais junto a esse órgão.

O bom exemplo de boas práticas de cooperação entre a atividade industrial extrativa, o conhecimento científico e a conservação, potencializado pela URCA e o escritório regional do DNPM, pode se esperar que continue, principalmente com a consolidação do Geopark. Em especial, espera-se que se intensifiquem as atividades de capacitação para a conservação do patrimônio e o turismo científico, por isso faz parte da cultura da URCA.



Intrinsecamente, e a curto e médio prazos, a cooperativa deve promover, com o auxílio dos parceiros do APL:

- a inclusão do maior número de produtores possível, de forma a evitar a concorrência desleal existente na região, produzindo queda de preços e, conseqüentemente, de qualidade de seus produtos, denunciando às autoridades, se for necessário, as atividades ilícitas;
- a desistência da prática de arrendar pedreiras para produtores individuais, sem ser feito legalmente, como indicado acima, associando-os à cooperativa;
- o cumprimento das exigências legais, no que se refere a questões ambientais, trabalhistas, de segurança e saúde e pagamento de taxas;
- o cuidado com o meio ambiente recuperando e protegendo os cursos d'água e áreas de proteção adjacentes, reorganizando as pilhas de rejeitos e implantando áreas de estocagem de produtos e subprodutos;
- o estudo geológico e paleontológico de suas frentes de lavra ativas, cujos resultados determinarão o planejamento da seqüência de produção e a recuperação simultânea das frentes exploradas;
- a efetiva inserção da mineração no contexto de promoção do geoturismo na região, reservando praças ou frentes de lavra, selecionadas pela facilidade de acesso e proximidade a geotopes do Geopark, para o estudo e a visitação, implantando, ainda, uma mínima estrutura para os visitantes;
- a efetiva instalação da central de beneficiamento, para usufruir dos equipamentos já existentes, melhorando sua produtividade, a qualidade de seu produto final e a diversificação de produtos;
- o desenvolvimento de ações de marketing, para valorizar os produtos, como a participação em feiras do setor e o uso da marca Pedra Cariri, criada durante o projeto APL, associando-a ao potencial turístico regional; e
- a implantação da CIPA, a realização de estudos de análise de risco e elaboração de planos de prevenção de acidentes, o uso de sinalização e equipamentos de proteção individual e a realização de campanhas educativas para proteger a saúde dos trabalhadores.
- O APL da Pedra Cariri encontra-se em situação favorável. Conta com forte apoio institucional, será beneficiado com os investimentos indicados acima e ainda tem projetos em andamento, derivados daquele de implantação do APL. No entanto, precisa ainda de mudanças comportamentais para continuar a se desenvolver e alcançar esse objetivo de adequada inserção no novo contexto econômico regional que parece ir tomando forma.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPILLAGA Plenge, Iñigo Diego. Ordenación del territorio y la industria extractiva minera en el Perú. Roberto Villas Bôas, Arsenio González Martínez (Ed.). Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq/CYTED/UIA, 2006. 298 p.:il. ISBN 85-7227-229-1
- ASSINE, Mário Luis. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro. 1990. 124f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1990.
- \_\_\_\_\_. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, Curitiba, v. 22, n. 3, p.289-300, set. 1992. Trimestral. ISSN 0375-7536. Disponível em: <[http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol22\\_down/2203/2203289.pdf](http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol22_down/2203/2203289.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2009.

- \_\_\_\_\_. Paleocorrentes e Paleografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 24, n. 4, p.223-232, dez. 1994. Trimestral. ISSN 0375-7536. Disponível em: <[http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol24\\_down/2404/2404223.pdf](http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol24_down/2404/2404223.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas em 2008. Informe 03/2009. Cid Chiodi Filho. 26 jan 2009. 23 p. Disponível em: [www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/7031/Balanco\\_2008.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/7031/Balanco_2008.pdf)>. Acessado em 12 abr 2009.
- BENTOLILA, David. Unidade de desenvolvimento econômico regional (UNIR). In: BAR-EL, Raphael (Org.). *Reduzindo a pobreza através do desenvolvimento econômico do interior do Ceará*. Fortaleza: IPLANCE, 2002. Cap. 4, p. 117-148. Disponível em: <[www.iplance.ce.gov.br](http://www.iplance.ce.gov.br)>. Acesso em: 14 fev. 2009.
- BEURLIN, K. A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, num. 34, v.3. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências: 1962. p. 365-370.
- \_\_\_\_\_. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 17. Recife, 1963. *Anais... Recife: SBG/SUDENE*, 1963 47 p. (Suplemento).
- \_\_\_\_\_. As Condições Ecológicas e Faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, V. 43. Suplemento. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1971. p. 411-415.
- BRASIL. Poder Executivo. Decreto de 4 de ago. de 1997. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe, nos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília*, 5 ago. 1997. P 16698. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/dnn/anterior%20a%202000/1997/dnn5587.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1997/dnn5587.htm) Acesso em: 10 fev. 2009.
- CALAES, Gilberto Dias. Planejamento estratégico, competitividade e sustentabilidade na indústria mineral: dois casos de não metálicos no Rio de Janeiro. Roberto Villas Bôas, Arsenio González Martínez (Ed.). Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq/CYTED, 2006. 242 p.:il. ISBN 85-7227-232-1
- CARIRY, Rosemberg. Cariri, a nação das utopias. *Diário do Nordeste: Caderno 3 - Geografia Cultural*, Fortaleza, 30 nov. 2008. p. 3-4. Disponível em: <<http://diarionordeste.globo.com/materia.asp?codigo=594331>>. Acesso em: 17 dez. 2008.
- CARVALHO, Ismar de Souza; VIANA, Maria Somália Soares. Os conchocostráceos da Bacia do Araripe. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, Vol.65 (2), p. 181-188.
- CARVALHO, Marise Sardenberg Salgado de; SANTOS, Maria Eugenia C. Marchesini. Histórico das Pesquisas Paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, Rio de Janeiro, Vol. 28-1, p.15-34, 22 set. 2005. ISSN 0101-9759.
- CASTRO, Nuria Fernández. Planejamento e ordenamento das atividades de mineração de calcários no Arranjo Produtivo Local do Cariri – CE. 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- CEARÁ. Poder Executivo. Decreto Nº28.506, de 01 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a criação das unidades de conservação de proteção integral dos monumentos naturais denominados sítios geológicos e paleontológicos do Cariri, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Fortaleza, 4 dez. 2006. Série 2, Ano IX, Núm. 229. Caderno 1/2, p. 1-3. Disponível em: <<http://www.seplag.ce.gov.br/seplag/categoria2/diario-oficial>>. Acesso em: 4 jan. 2009

- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Ministério Das Minas e Energia. 4o distrito:PE e 10o distrito:CE. Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe: Programa nacional de estudos dos distritos mineiros. Fase I. Recife, 1996. 101 p. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Trabalhos/Araripe.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2007
- DUARTE, L. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe. In: Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, 1985. DNPM, Série Geologia, n. 27, Brasília, p. 585-617.
- GLOBAL GEOPARKS NETWORK. UNESCO. Mt. Sanqingshan geopark recognized as UNESCO's World Heritage. News & Events . Disponível em: <<http://www.globalgeopark.org/publish/portal1/tab59/info2871.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2008.
- GÓMEZ Orea, Domingo. Ordenación Territorial. [S.l.], Espanha: Mundi Prensa, 2007. 766 p. 978-84-8476-325-3
- INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (Portugal). Ministério da Economia e Inovação. Cartografia temática do anticlinal como instrumento de ordenamento do território e apoio à indústria extrativa: UNOR 5 - Pardais. Relatório Executivo. Lisboa, 2006. 35 p.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Governo do Estado do Ceará..Base Cartográfica Digital. Governo do Estado do Ceará: Fortaleza, 2009b Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br/categoria5/base-2/base-1>>. Acesso em: 13 mar. 2009.
- KELLNER, Alexander Wilhem Armin.; CAMPOS, Diógenes de Almeida. Short note on the ingroup relationships of the Tapejaridae (Pterosauria, Pterodactyloidea). Boletim do Museu Nacional, (nova série), Geologia, out. 2007. Rio de Janeiro, n. 75, p. 1-14. Disponível em <[www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)>. Acesso em 23 mar. 2008.
- LIMA, M. R. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). 1978. Tese de Doutorado. Universidade do Estado de São Paulo, 1978. 335 f.
- LIMAVERDE, Rosiane. Acervo lítico e cerâmico da Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. Fundação casa grande-memorial do homem kariri: Nova Olinda-CE, 2006. 40 pp.
- \_\_\_\_\_. Os registros rupestres da Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SAB, 1, CONGRESSO DA SAB, 14, ENCONTRO DO IPHAN E ARQUEÓLOGOS, 3, 2007. Florianópolis. Anais... Florianópolis: SAB, 2007. v. 1. [p.?] 10p. Disponível em: <[www.fundacaocasagrande.org.br/pdf/artigo.pdf](http://www.fundacaocasagrande.org.br/pdf/artigo.pdf)>, acesso em 20 jan. 2009
- MAISEY, J. G. (Ed.). Santana Fossils: An illustrated Atlas. Neptune City, US: TFH Publications Inc., 1991. 459 p.
- MARTILL, David M. (Ed.). Fossils of the Santana and Crato formations, Brazil. Field Guides to Fossils, 5. Londres: The Palaeontological Association, 1993. 159 pp.
- MARTILL, David. The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its paleobiota. 11 jan 2007. Cretaceous Research. Amsterdam: Elsevier, 2007. n. 28, p. 895-920. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 13 ago. 2008.
- MARTILL, David; HEADS, Sam. Out of Eden? In: The Geological Society. Geoscientists Online. Archive 2007. 11 nov 2007. Disponível em: <[www.geolsoc.org.uk/gsl/cache/offonce/geoscientist/features/pid/2908;jsessionid=8BF14F34CD2A710D6128E5BDD57B08ED](http://www.geolsoc.org.uk/gsl/cache/offonce/geoscientist/features/pid/2908;jsessionid=8BF14F34CD2A710D6128E5BDD57B08ED)>. Acesso em: 01 maio 2008.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Brasil). Arranjos Produtivos Locais Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/9721.html>>. Acesso em: 10 nov. 2006a

- MOHR, B.A.R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C. *Endressinia brasiliana*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). In: *International Journal of Plant Sciences*, 2004, Vol. 165 (6), Chicago: 2004. p. 121-133.
- MOHR, B.A.R.; FRIIS, E.M. Early Angiosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil), a preliminary report. In: *International Journal of Plant Sciences*, 2000, Vol. 161, Chicago: 2000. p.155-157.
- MOURA, Geraldo; BARRETO, Alcina; BÁEZ, Ana Maria. *A biota da Formação Crato, Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Olinda: Livro Rápido - Elógica, 2006. 101 p. (ISBN: 85-7716-120-X).
- NEUMANN, Virgínio Henrique de Miranda Lopes. *Estratigrafía, sedimentología, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe: (Noroeste de Brasil)*. 1999. 294f il. Tesis (Doutorado) - Departamento de Estratigrafia, Paleontologia i Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geológica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, (Espanha), 1999.
- NEUMANN, Virgínio Henrique de Miranda Lopes; CABRERA, Luis. *Una nueva propuesta estratigrafica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil*. In: *Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil*, 5, Rio Claro, 1999. São Paulo: UNESP, 1999, p. 279-285.
- ORDÓÑEZ Gómez, Beatriz Eugenia. *Ordenación del territorio*. In: *La minería en el contexto de la ordenación del territorio*. Roberto C. Villas Bôas, Roberto Page (Ed.). Rio de Janeiro: CNPq/CYTED/IMAAC/UNIDO, 2002. 418 p.:il. ISBN 85-7227-147-3
- PEITER, Carlos César; CASTRO, Nuria Fernández. *Environmental solutions for the small scale natural stone producers*. In: *Revista eletrônica Medio Ambiente On-line*. Canadá: 4 jan. 2007. Disponível em: < [www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case\\_study/4403.html](http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/4403.html)>. Acesso em: 16 abr. 2009
- PONTE, Francisco Celso; APPI, Ciro Jorge. *Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe*. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36. Natal, 1990. Anais... Natal:SBG, 1990. v. I, p. 211-226.
- PONTE, Francisco Celso; PONTE-FILHO, Francisco Celso. *Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe*. Recife: DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral - 4o e 10o Distritos Regionais, 1996. 68 p.
- RONCARATTI, Luanna Sant`anna; FREITAS, Alexandre Vitor Figueira de. *Elaboração do Plano de Ação para Mesorregião da Chapada do Araripe: Relatório Técnico: Projeto de Cooperação Técnica BRA/04/024 Projeto de Desenvolvimento Socioeconômico*. [S.l.]: Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Programas Regionais, 2007. CD-ROM.
- RÜCKERT, Aldomar A. *A política nacional de ordenamento territorial, Brasil: uma política territorial contemporânea em construção*. In: *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, Universidad de Barcelona:Barcelona, v.XI , n. 245 (66), 01 ago. 2007. Quinzenal. ISSN: 1138-9788. Disponível em: <[www.ub.es/geocrit/sn/sn-24566.htm](http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-24566.htm)>. Acesso em: 12 fev. 2009.
- SILVA, Agnelo Leite. *Estratigrafia física e deformação do sistema lacustre carbonático (Aptiano-Albiano) da Bacia do Araripe em afloramentos selecionados*. 2003. 118 f. il. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- SINTONI, Ayrton; ALMEIDA, Amilton Dos Santos. *Fundamentos para o ordenamento*. So Paulo: Ipt, 2006. 14 p. Sem publicar
- STUDART, Carlos. *As tribus indígenas do Ceará*. In *GIRÃO, Raimundo; MARTINS FILHO, Antônio. O Ceará*. Fortaleza: Editora Fortaleza, 1939.Pág. 124-130.

- UNESCO. World Heritage Center. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. Paris: WHC, Feb. 2005. 152 p. Disponível em: <unesdoc.unesco.org/images/0013/001386/138676e.pdf>. Acesso em: 8 out. 2007.
- UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI (Ceará). Governo do Estado do Ceará. Araripe Geopark: application dossier for nomination. Araripe Geopark State of Ceará, Brazil. Juazeiro do Norte:URCA, 2005. 142 p.
- \_\_\_\_\_. Destaques: Aprovado componente de Educação Ambiental para o Projeto Geopark Araripe. Publicado em 26 mar. 2009a. Disponível em: < www.urca.br/portal/index.php/noticias-e-eventos/14-lista-de-noticias/212-geopark>. Acesso em: 03 abr. 2009.
- \_\_\_\_\_. Destaques: A China no Cariri: firmado acordo de cooperação com Geopark Araripe. Publicado em 26 mar. 2009c. Disponível em: < www.urca.br/portal/index.php/noticias-e-eventos/14-lista-de-noticias/212-geopark>. Acesso em: 03 abr. 2009.
- VIANA, Maria Somália Sales; NEUMANN, Virgínio Henrique Lopes. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE: Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo.. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. p. 113-120. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio005/sitio005.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2009.
- VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; CAMPOS, Diógenes de Almeida. Explotando calcário e salvando fósseis na Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 6. VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; CASTRO, Nuria Fernández (Org.). Anais .... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 380 p.:il. Cap. 30, p. 306-316. ISBN 978-85-61121-41-9.
- VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; PADILHA, Manoel William Montenegro; OLIVEIRA, Raimundo Roncy. Estudo de exploração preliminar dos rejeitos da Pedra Cariri. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2. Guarapari, 2005. Anais..., Rio de Janeiro:CETEM/CETEMAG, 2005, CD-Rom.

# **Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais na arquitetura, e seu uso em vias públicas**

*Renato J. Ávila Paldés<sup>1</sup>*

## **RESUMO**

*O trabalho é a continuação do trabalho publicado nos Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais / VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2008, Natal – procurando ainda chamar a atenção do setor produtivo e dos profissionais envolvidos na especificação desses materiais, para uma visão mais apurada e conscientização para o aproveitamento dos chamados rejeitos do processo industrial das rochas ornamentais.*

*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, que se aplicados em grande escala, diminuiriam consideravelmente as montanhas de resíduos hoje existentes nos pátios das empresas.*

*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.*

*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.*

## **INTRODUÇÃO**

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 47% da produção e 44% das exportações do setor.

A produção do Arranjo Produtivo Local (APL) de Rochas Ornamentais Capixaba responde hoje por cerca de 7% do Produto Interno Bruto (PIB) do Espírito Santo. São cerca de 1.300 empresas que contribuem para a geração de emprego e renda em todo o Espírito Santo, promovendo de maneira descentralizada o desenvolvimento econômico e social. Só nos últimos dois anos os investimentos da cadeia produtiva de rochas (extração, beneficiamento, máquinas, equipamentos, insumos, infra-estrutura, etc.) do Estado atingiram a casa de R\$ 1 bilhão. (Inforochas, 2010).

O Espírito Santo possui cerca de 1.300 teares (maquinário que faz a serragem do bloco e sua transformação em chapas) em operação no Estado, o que representa em torno de 57% dos teares instalados no Brasil. A maioria deles está localizado em Cachoeiro do Itapemirim. E por ano são extraídos mais de 800 mil metros cúbicos de rochas do Estado. (Governo Estado ES – Secretaria de Desenvolvimento)

---

<sup>1</sup> Arquiteto e Urbanista/ Administrador. E-Mail: [arquiteto@renatopaldes.arq.br](mailto:arquiteto@renatopaldes.arq.br) - [www.renatopaldes.arq.br](http://www.renatopaldes.arq.br)

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

### EXTRAÇÃO E SERRAGEM

Um bloco médio é retirado das pedreiras com as dimensões brutas de 2,90m x 1,80m x 1,80m. Devido ao processo de extração - corte efetuado através de martelos pneumáticos - estas dimensões brutas não possuem esquadro nem prumo (Figura 01), sendo então o bloco, um elemento irregular.



Figura 01 – Jazida de extração de blocos. Cortes efetuados pelos martelos pneumáticos, gerando falta de prumo e esquadro ao bloco que será serrado na indústria. Devido ao valor de mercado do material, alguns blocos – para seu melhor aproveitamento – também não atingem o tamanho padrão. (foto Nemer S/A.)

No processo de serragem do bloco padrão, ele produz aproximadamente 54 chapas com dimensões médias de 2,90m x 1,80m x 0,02m, e em função de suas irregularidades, a área útil aproveitável de cada chapa é cerca de 2,80m x 1,75m, em função da irregularidade dos blocos.

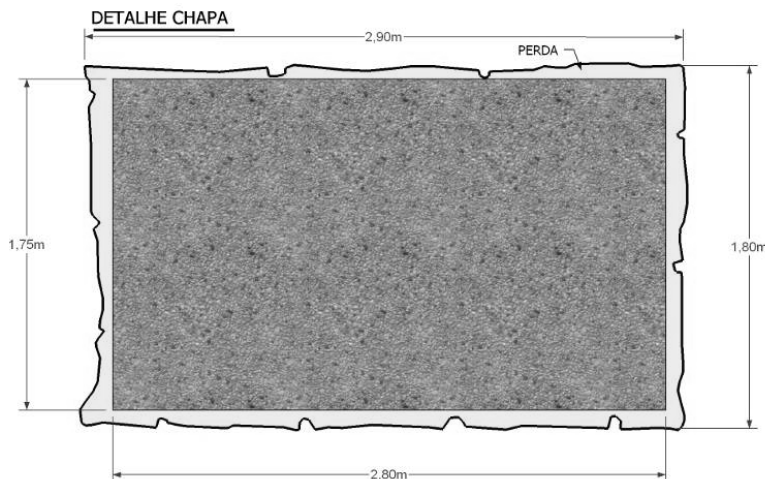
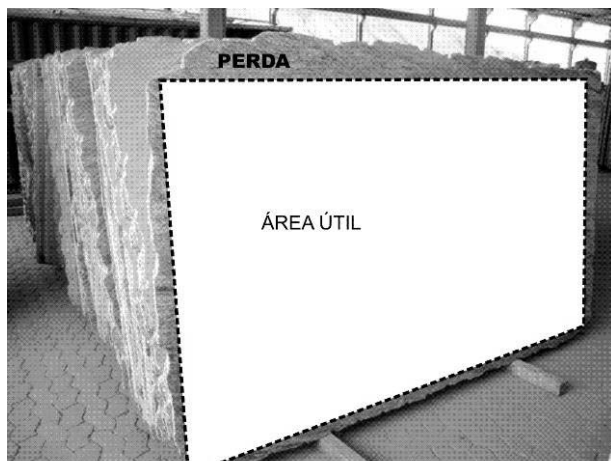


Figura 02 – Chapas de granito após a serragem do bloco. Área útil aproximada de 2,80m x 1,75m. (Desenho do autor)



**Figura 03** – Área útil de uma chapa serrada. (Foto do autor)

Portanto, devido à falta de esquadro, as chapas produzidas de um bloco convencional, perdem nas laterais, algo em torno de 0,10m - somados os dois lados - estimando-se cerca de 0,05m para cada lado. (Figura 02)

A partir desses dados, calculou-se a perda estimada por chapa:

Maior dimensão x perda + Menor dimensão x perda =

$$2,90\text{m} \times 0,10\text{m} + 1,75\text{m} \times 0,10\text{m} =$$

Perda estimada/chapa = 0,465 m<sup>2</sup> por chapa.

Como a produção média de um bloco nas dimensões médias é de cerca de 54 chapas por bloco ( na espessura 0,02m) o desperdício na serragem – por bloco - é de 25,11 m<sup>2</sup>/bloco.

Número de chapas/bloco x Perda por chapa =

$$54 \text{ chapas} \times 0,465 \text{ m}^2 =$$

**Perda estimada/bloco** = 25,11 m<sup>2</sup> por bloco.

A partir do levantamento por amostragem, realizados no setor, que indicou que uma indústria serra em média 08 blocos por mês em cada um de seus teares, calculou-se que a perda – por tear – é de 200,88 m<sup>2</sup>. Desse total, descontou-se 20% (vinte por cento) referente ao material que é exportado.

Número de serradas/mês x Perda estimada por bloco =

$$08 \times 25,11 \text{ m}^2 =$$

Perda estimada/tear = 200,88 m<sup>2</sup> por tear.

Desconto material exportado = 20%

**Perda estimada final/tear** = 160,70 m<sup>2</sup> por tear.

Sabendo-se ainda que o mercado possui atualmente cerca de 1300 teares – serrando aproximadamente 10.400 blocos/mês – estima-se a perda mensal esteja na ordem de 208.910m<sup>2</sup>, que ao peso médio de 60 Kg/m<sup>2</sup>, corresponde a 12.534.600 kg, cerca de 12,5 toneladas/mês de desperdício, e 150 toneladas/ano.

Importante ressaltar que o material desperdiçado gera frete da pedreira para a indústria – pago em tonelada - que normalmente tende a onerar o preço final da chapa ou ladrilho.

A possibilidade de uso desse material desperdiçado, além de gerar aumento do uso do produto e renda, terá como consequência o aumento de empregos no setor.

Perda estimada final/tear x Números de Teares =

$$160,70 \text{ m}^2 \times 1.300 =$$

Perda total/ mês 208.910m<sup>2</sup>



$208.910/\text{mês} \times 60 \text{ Kg/m}^2 = 12.534.600 \text{ Kg (12,5 Ton.)}$

Perda total/ano = 12,5 Ton. x 12 = **150 toneladas/ano.**

### REJEITOS DA INDÚSTRIA

Atualmente, avolumam nas indústrias e marmorarias, montanhas de resíduos (figura 03/04), que causam enorme impacto ambiental. Durante anos a única aplicação utilizada com esses rejeitos, era para lastro (tipo ensaibramento) de vias sem calçamento, muito utilizada na região. A prática mostrou que esse tipo de uso era ineficiente já que os resíduos soltos se deslocavam e batiam nas laterais e fundo dos veículos, além de constantemente furar seus pneus.



**Figura 03/04** – Tiras e montanhas de rejeitos que se avolumam nos pátios das indústrias. As tiras são oriundas do processo de esquadrejamento das chapas, resultando em grande quantidade de sobras do processo industrial. (Fotos do autor)

Quantificar então o volume anualmente gerado e promover novas utilizações para os resíduos podem trazer ao setor:

- Consciência do grande desperdício.
- Redução dos custos;
- Redução do impacto ambiental;

O grande desafio inicial será ultrapassar os vícios do processo de corte, pois é necessário mudar a mentalidade do empresário e de seus empregados, que precisam – em função de novas utilizações - ter novo manuseio e cuidado nos novos procedimentos.

Acredita-se que, o próprio retorno financeiro na venda destes antigos dejetos permitirá no futuro, a criação desta nova cultura.

### POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO

No processo de corte de uma chapa, o operador de máquina, ao recortar as peças ou ladrilhos, quebra as tiras resultantes do esquadrejamento (assinaladas na Figura 5), para poder acomodá-las no carrinho que as transporta para o lixo.



Figura 05 – Tiras resultantes do processo de corte (esquadrejamento). (foto do Autor)

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.

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.

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.

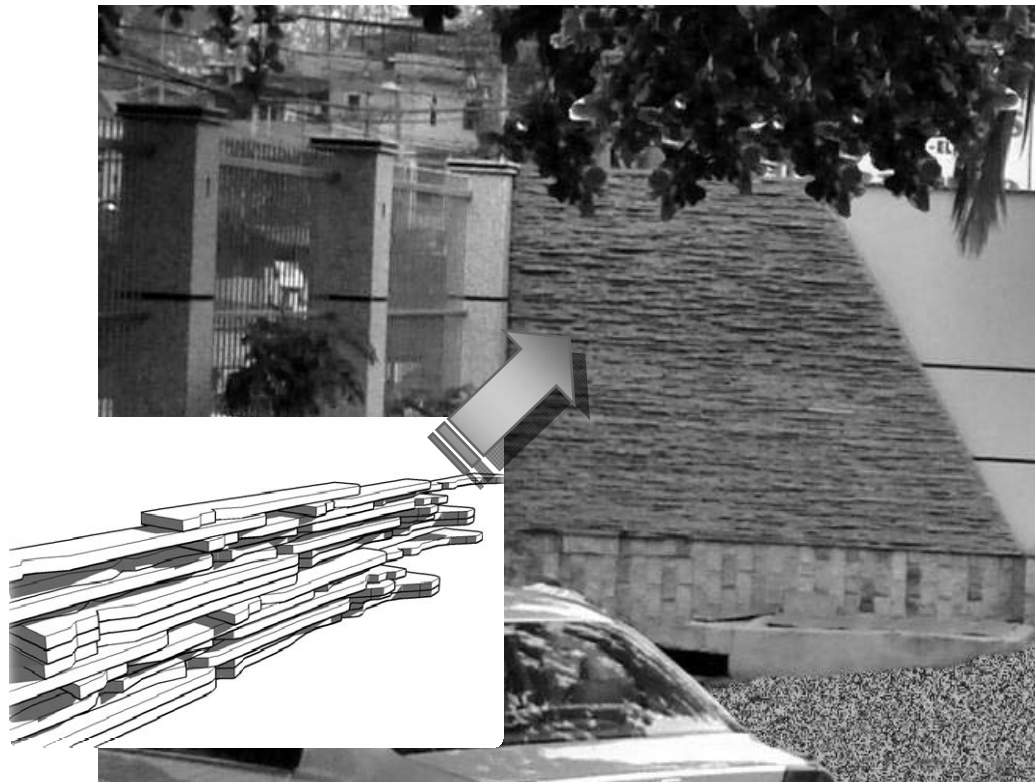


Figura 06 – Tiras aplicadas – face serrada para dentro – assentes com argamassa formando painel decorativo. (Obra Karmak, 2005. Foto do autor)



Figura 07 – Painel em Tiras aplicadas. Materiais diversos assentes com argamassa, flamados no local e resinados, formando painel monocromático. (Obra Jaciguá, 2007. Foto do autor).

Outra utilização, ainda das tiras, foi realizada aplicando a face irregular delas para dentro, conseguindo-se assim um efeito uniforme (Figura 7). Em algumas situações foram usadas como forma para o concreto das colunas, enchendo-se as mesmas por etapas (Figura 08).



Figura 07 – Colunas em Tiras aplicadas. Assentes com face serrada para Fora. (Obra R. Azevedo, 2005 – Obra Jaciguá, 2008 - Fotos do autor).

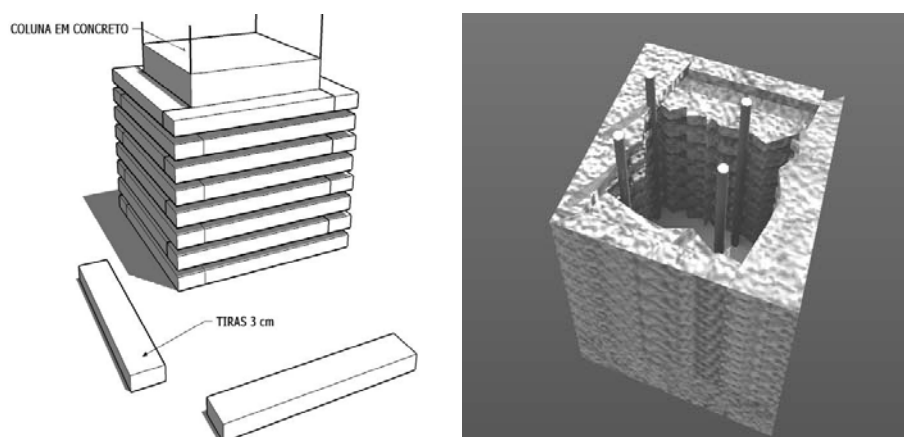


Figura 08 – Colunas em Tiras aplicadas. Assentes com face serrada para dentro – preenchidas, em etapas, com concreto.(Desenhos do autor).

Nessa linha, até os de cacos de mármore, considerados um dos mais desprezíveis dejetos, aplicados de forma paginada e ordenada, possibilitam uma imensa gama de texturas e podem também contribuir com a estética do local aplicado (figura 09).

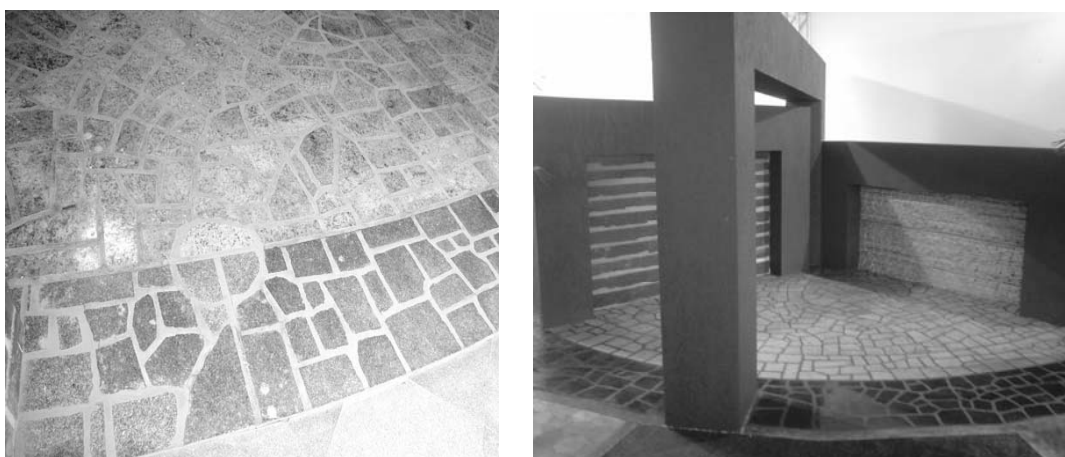


Figura 09 – Pisos de cacos de granito, paginado. Obra Jaciguá 2008 e Stand Cachoeiro Stone Fair 2009 - com painel em tiras e casqueiro – (Fotos do autor).

### USO GRANITO EM VIAS PÚBLICAS X PEDRAS PORTUGUESAS

As pedras portuguesas foram empregadas pela primeira vez em Lisboa no ano de 1842. E através dos tempos, o Brasil herdou a tradição de seu uso através de nossos colonizadores.

Entretanto, a falta de gestão pública do espaço urbano não tem se mostrado capaz de assegurar o cumprimento da técnica de execução dos mosaicos em pedra portuguesa, por não capacitar mão de obra e nem a manutenção adequada das calçadas.

E o que se vê atualmente, são calçadas totalmente esburacadas, com pedras soltando e colocando em risco a integridade dos pedestres. Segundo o IPEA, num levantamento realizado na cidade de São Paulo, são 09 quedas por 1.000 habitantes/ano. Isto é, 100.000 pedestres por ano, considerando SP com quase 11 milhões de habitantes.

Em um levantamento realizado em 2007, o Ministério da Saúde identificou que a internações de idosos em hospitais públicos (SP) cresceram 12%, saindo de 8.386 para 9.400, na maioria por quedas em calçadas.

Mas o fato é que, mesmo bem assentadas, trazem dificuldade para deambulação, principalmente de pessoas com deficiência, idosos, carrinhos de bebê, etc.

O presente estudo não é contrário as pedras portuguesas, acreditando que as mesmas indispensáveis em locais históricos e projetos específicos, sendo as mesmas fundamentais na recuperação e manutenção de áreas históricas.

Já o granito, em suas aplicações convencionais (placas e ladrilhos de tamanho comercial) apesar de mais caro, é muito mais durável, com risco de acidente para os pedestres praticamente nulo e com custo de manutenção menor. Mas, se pudermos ampliar o uso de resíduos do processo industrial para sua utilização em passeios e calçadas, o empecilho maior que o preço, ficará descartado.

Em 2009, a organização da Cachoeiro Stone Fair, nos contratou para que pudéssemos demonstrar as possibilidades de **Uso de rochas ornamentais em vias públicas**, convidando para o evento todos os prefeitos e secretários de obras, para divulgar e disseminar o uso do material.

No local, foram expostos diversos tipos de aplicação, sendo somente utilizados os ditos “restos” ou sobras do processo industrial. Pequenas tiras transformaram-se em mosaicos, painéis, etc.

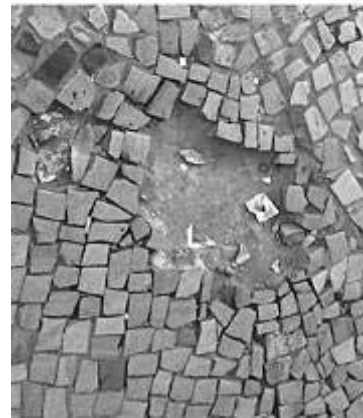
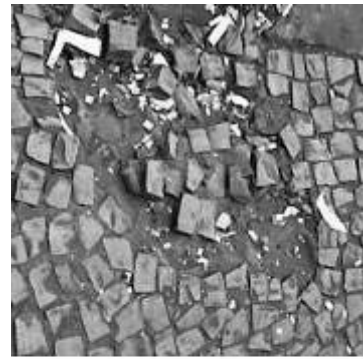


Figura 10 – Pisos em tiras de granito, paginado. Stand Cachoeiro Stone Fair 2009. Milanez e Milaneze (Foto do autor).



Figura 11 – Pisos em ladrilhos rústicos de granito, paginado. Visita das autoridades. Stand Cachoeiro Stone Fair 2009. Milanez e Milaneze. (Foto do autor).

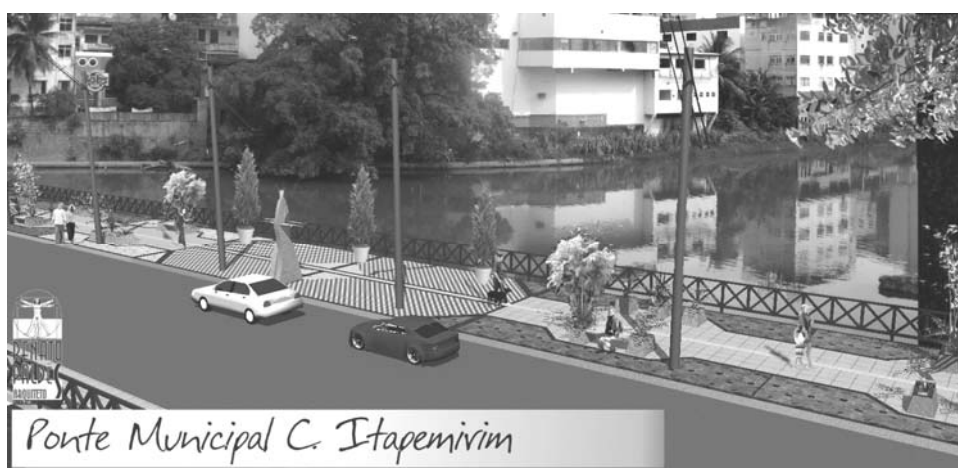


Figura 12 – Pisos em ladrilhos rústicos de granito e mármore paginados. Ponte Municipal de Cachoeiro de Itapemirim. Milanez e Milaneze. (Croquis).

Dando continuidade a essas utilizações, desenvolvemos projeto para uma ponte em nossa cidade (passeio de 880,00 m<sup>2</sup>), projeto contratado pela empresa realizadora da Cachoeiro Stone Fair – Milanez e Milaneze – que durante a feira assinou juntamente com os empresários do setor e a prefeitura municipal, termo de compromisso para execução da obra, que se iniciará em janeiro/2011. Além de estarmos desenvolvendo para a Vitória Stone Fair utilização dos mesmos materiais para orlas marítimas.

## CONCLUSÃO

Novos processos extrativos ditos de ponta – alguns já existentes – levarão anos para chegar às pedreiras, verdadeiro 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 de possuir capital para investir em novas tecnologias.

Portanto, durante muito tempo ainda os blocos continuarão a ser extraídos da forma que são.

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 150 toneladas não pode ser desprezada.

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, que na verdade é uma continuação do trabalho apresentado no VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (2008) não pretende e nem quer 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.

UFES - 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](http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/index.cfm)

Wikipédia – Enciclopédia Livre [http://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento\\_sustentavel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento_sustentavel)

Obras e fotos do autor: [www.renatopaldes.arq.br](http://www.renatopaldes.arq.br) - E-mail: [arquiteto@renatopaldes.arq.br](mailto:arquiteto@renatopaldes.arq.br)

## Usos diferenciados de rochas na arquitetura

*Risale Neves Almeida<sup>1</sup>; Lucila Ester Prado Borges<sup>2</sup>; Alexandre Braz<sup>3</sup>, Camila Borba<sup>3</sup>, Deborah Marinho<sup>3</sup>, Fabíola Soares<sup>3</sup>, Keity Xavier<sup>3</sup>, Juliana Santa Cruz<sup>3</sup>; Juliana Neves<sup>3</sup>; Bruna Borba<sup>3</sup>, Cícero Fernandes<sup>3</sup>, Evelyn Rufino<sup>3</sup> e Filipe Soares<sup>3</sup>*

### RESUMO

*Ampliar conhecimentos sobre o uso de rochas na arquitetura foi o desafio proposto a estudantes de arquitetura e geologia, por ocasião da II Feira de Minerais e Rochas da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, em 2009. Eles pesquisaram sobre o tema dando continuidade ao Painel de Rochas Ornamentais, trabalho iniciado durante a primeira edição da Feira na UFPE em 2006. Após a criação, o Painel integrou a exposição dos 50 Anos de Geologia da UFPE (2007); motivou Workshop no VI SRONE realizado em Natal, RN (2007) e foi apresentado no II Congresso Internacional de Rochas Ornamentais em Carrara, Itália (2008). O Painel de Rochas objetiva o estudo e a adequação de diferentes tipos de rochas para usos na arquitetura, partindo do entendimento da origem e composição mineralógica. Na Feira de 2009, o Painel incorporou estudos para identificação de “usos diferenciados” de rochas na arquitetura da Itália, Espanha, Alemanha e América Latina, buscando, entre descobertas inerentes à própria arquitetura, saber, se no Brasil as rochas foram no passado ou vêm sendo empregadas hoje, para algum outro uso diferente de revestimento e mobiliário. Esse novo enfoque motivou a palestra sobre o trabalho no VII SRONE em Fortaleza, CE (2009).*

### INTRODUÇÃO

Para os alunos de arquitetura e geologia envolvidos na segunda edição da Feira de Minerais e Rochas da UFPE (2009), pesquisar “usos de rochas na arquitetura” foi uma inovação. Esse tema nunca havia sido tratado no âmbito do Curso de Arquitetura, pelo menos no curso da Universidade Federal de Pernambuco, muito menos no Curso de Geologia.

**Mesmo tendo um caráter de pesquisa preliminar**, sem tanto aprofundamento no estudo dos casos pesquisados por se tratar de uma atividade de extensão de curta duração voltada para apresentação durante feira pedagógica de três dias, **os exemplos selecionados causaram impacto principalmente no âmbito da geologia**, que até então, nunca tinha se voltado do ponto de vista programático do curso, para a realidade da aplicação das rochas na arquitetura nem para as possibilidades diferenciadas desses usos. Reunidos, os sete alunos de arquitetura e os quatro de geologia, procuraram identificar, de um lado, o diferencial arquitetônico de uso das rochas empregadas nos exemplos selecionados, e do outro, identificar um ou mais tipos de rochas empregadas nesses exemplos quando possível, uma vez terem sido oriundos de pesquisa em arquivos da internet (maioria) voltada para produção arquitetônica de arquitetos. Sendo assim, encontrou-se pouco detalhamento sobre os tipos de rochas usados nas obras, havendo apenas citações, bastante como primeiro passo nessa investigação.

---

1 Arquiteta Doutoranda, Depto de Arquitetura e Urbanismo – DAU/PPGEOC/UFPE, risale@hotlink.com.br

2 Geóloga (Parceria)

3 alunos de arquitetura e geologia participantes



Para orientar os alunos, as professoras, arquiteta doutoranda Risale Neves e a geóloga Dra. Lucila Ester Borges, contaram com a colaboração dos professores geólogos Drs. João Adauto Souza Neto e Evenildo Bezerra de Melo (UFPE) e da geóloga convidada Dra. Maria Angélica Batista Lima (CPRM).

O investimento nesse trabalho deixou uma questão para investigação futura: por que, no Brasil, o uso de rochas é difundido como material apropriado para uso em revestimentos e em mobiliário, mas não é explorado pela arquitetura para usos diferenciados? Por exemplo, uso para composição arquitetônica; uso estrutural ou estes dois usos ao mesmo tempo como nas obras de Antón Garcia (Espanha) ou Renzo Piano (Itália)? A primeira trata-se da Sede Geral de Autores e Editores (2004) em Santiago de Compostela e foi pesquisada por aluno de arquitetura em Trabalho Final de Graduação (2009); a segunda fez parte do elenco de obras referenciadas na atividade de pesquisa título desta apresentação. Ambas podem ser vistas nas fotos 01 e 02 mostradas adiante.



Foto 01 Sede Geral de Autores e Editores – Arquiteto Antón Garcia – Santiago de Compostela ES

## **OBJETIVO**

O estudo então, cuja origem se deu no Pannel de Rochas Ornamentais em 2006 tendo como base de investigação o conhecimento tecnológico sobre as rochas, teve também como objetivo em 2009:

01- integrar estudantes das duas áreas, deflagrando, do lado da geologia, a descoberta de uma demanda desconhecida de usos, e provocar, do lado da arquitetura a imperiosa necessidade de se conhecer a origem da rocha e suas características tecnológicas, para poder direcionar as especificações e projetar tradicionais e diferentes usos com sucesso.

02- proporcionar novas frentes de pesquisa principalmente no âmbito da arquitetura, cujos trabalhos de graduação têm se voltado muito mais à elaboração de projetos fictícios de edificações, teorias de planejamento, técnicas retrospectivas entre outras abordagens, mas nenhuma com referencias às rochas numa prova de desconhecimento, até mesmo do corpo

docente do curso local, das alternativas de estudo e utilização que o segmento das rochas pode proporcionar ao aluno e futuro arquiteto em sua prática profissional.

Assim, os onze alunos participantes da pesquisa (sendo sete de arquitetura e quatro de geologia), foram orientados pelas coordenadoras arquiteta Risale Neves e geóloga Lucila Ester Borges e não tiveram dificuldades na seleção de obras de arquitetos internacionais. A investigação sobre as obras na América Latina e particularmente no Brasil foi mais limitada. Não foram encontradas utilizações de rochas dentro da expectativa almejada que pudessem ser consideradas como absolutamente diferenciadas, como será visto no decorrer dessa apresentação.

### **COMO O TRABALHO DE PESQUISA FOI DESENVOLVIDO COM OS ALUNOS**

A etapa de pesquisa que antecedeu à Feira 2009 foi pautada inicialmente por abordagens a termos e definições desconhecidas dos alunos de arquitetura e geologia. Na sequência das orientações, os professores das duas áreas e os colaboradores, disponibilizaram conhecimentos gerais como a mineralogia, a caracterização tecnológica das rochas, os ensaios laboratoriais, os usos mais conhecidos na arquitetura e comentaram também sobre algumas ocorrências de *alterabilidade* abordadas em bibliografia, outras conhecidas dos professores e orientadores ou, detectadas ocasionalmente por cada participante em particular e durante eventuais aulas de campo.

No caso da arquitetura, caminhadas pela cidade do Recife principalmente na orla marítima, ajudaram a visualizar problemas decorrentes de especificações indevidas, mau assentamento ou mesmo decorrentes das reações próprias do meio ambiente, fator que também precisa ser muito bem observado pelos arquitetos na hora de especificar rochas para a arquitetura.

Por fim, alunos divididos em quatro grupos procuraram identificar por meio de bibliografia e com o auxílio da internet, obras existentes na Itália, Espanha, Alemanha e América Latina desde que projetadas por arquitetos renomados no cenário internacional e, que tenham provocado alguma curiosidade estética, funcional ou construtiva.

Para a Feira 2009, foram selecionadas para apresentação no Painel de Rochas de duas a três obras de cada país, conforme seguem abaixo:

**Da Itália**, as alunas Bruna Borba (geologia), Fabíola Soares e Keity Xavier (arquitetura), trouxeram para conhecimento a obra da Igreja de San Giovanni Battisti (Firenze) do arquiteto Giovanni Michelucci e a obra da Igreja Santuário em homenagem à Padre Pio, situada em San Giovanni Rotondo (Foggia), de autoria do renomado Arquiteto italiano Renzo Piano. Essas obras apresentam um importante contraste tecnológico que vai do tradicional sistema de construção e assentamento de rochas à forma estrutural absolutamente arrojada onde o bloco de rocha é componente da solução de pórticos viabilizada por cabos de aço de sustentação. Apesar das diferenças arquitetônicas, as duas obras refletem a intenção dos autores dos projetos de proporcionar aos fiéis ambiente místico religioso apropriado ao recolhimento espiritual.

**Da Espanha**, os alunos Juliana Santa Cruz e Camila B. Rodrigues (arquitetura) e Cícero A. Fernandes (geologia) apresentaram três obras destacadas por suas singularidades arquitetônicas em princípio, procurando identificar os tipos de rochas empregadas nas construções. O Prédio do Serviço Nacional de Saúde da Andaluzia em Almería, do arquiteto A. Campo Baesa, uma das obras destacadas, é notável pela funcionalidade dos painéis pivotantes de rocha usados para compor as fachadas. Do Escritório AMP Arquitetos (Felipe Artengo, Fernando Menis, José Maria Pastana) foi destacada a Residência do Governo das Canárias onde

o concreto aparente compõe a obra em harmonia com a rocha natural. Por fim uma obra emblemática no cenário da arquitetura contemporânea, que notadamente faz parte do cenário religioso e histórico cultural da cidade de Barcelona: a Igreja da Sagrada Família (1882), continuada pelo arquiteto Gaudi. É uma obra diferenciada por sua monumentalidade, diversidade artística, emprego de variados tipos de rochas provenientes muitas vezes de doações e por permanecer ainda inconclusa. O seu contexto construtivo ornamental conta com cerca de nove tipos de rochas ígneas e doze sedimentares naturais da região, com acabamentos diversificados.

**Da Alemanha**, a alunas Juliana Neves (arquitetura) e o aluno Filipe Soares (geologia) selecionaram a obra do “Wurth” Museum (1977/2000) do arquiteto Henning Larsen que explora um jogo de encaixes de blocos de rocha programadamente partidos para composição das fachadas, utilizando o *muschelkalk*, tipo de calcário fossilífero muito usado nas estruturas subterrâneas da cidade; a obra da Embaixada da Índia em Berlim (1999/2001) onde o arquiteto Léon Wohlhage Wernik utilizou granitos e arenitos da Índia, *arenaria rossa barauli* e *granito nero jhans*, em chapas que variaram de 22x22 a 87x87cm, com 12cm de espessura dando efeito diferenciado às fachadas; e a obra da Sinagoga de Dresden (1998/2001) dos arquitetos Wandel, Hofer, Lorch e Hirsch onde extraordinariamente ao que se propôs a pesquisa, foi selecionada pelo rico trabalho de composição estrutural mesmo tratando-se de um material artificial denominado “formstein” (concreto + fragmentos de pedras), com blocos pré-fabricados em 60x60x120cm. O que há em comum a essas a essas três obras é o emprego de blocos de rochas ora como elemento estrutural, ora como elemento compositivo de fachadas, sendo que, na primeira obra citada, o Wurth Museum, os blocos de rocha têm emprego como elemento estrutural e estético ao mesmo tempo.

**Da América Latina**, pela historia recente de usos de rochas, não há referencias à usos diferenciados, pelo menos até onde ficou limitado o universo deste trabalho de pesquisa com alunos de arquitetura e geologia. No entanto, duas obras foram escolhidas pelos alunos Alexandre Braz e Deborah Marinho (arquitetura) e Evelyn Rufino (geologia): uma para mostrar que é possível optar pela diversidade de materiais em uma mesma obra conforme fez o arquiteto Ruy Ohtake no projeto do Brasilia Alvorada Hotel, Brasília, DF e a outra obra, a do Museu Latino Americano de Buenos Aires, MALBA, projetado pelo escritório AFT Arquitetos, para mostrar como uma aplicação bem modulada de placas de rochas pode enriquecer a volumetria da obra. Foram usadas rochas calcárias levigadas *Jura Gold*, da Alemanha, fixadas por meio de *inserts* metálicos em todas as fachadas. No piso do hall de entrada, foi aplicado o mármore *crema marfil* da Espanha.

**Para apresentação no VII SRONE** realizado em Fortaleza, CE (2009), apenas uma obra de cada país pesquisado foi abordada, de modo a atender a exigência de tempo de apresentação. A escolha de cada obra visou a evidencia de algum uso diferenciado da rocha considerado mais expressivo, de modo a permitir à platéia formada essencialmente por não arquitetos, da forma mais clara possível, um entendimento preciso do que se considerou no trabalho em tela como sendo **usos diferenciados de rochas na arquitetura**. O detalhadamente desse conteúdo é o que será abordado a seguir.

## CONSIDERAÇÕES, DETALHAMENTO PARA O VII SRONE E NOTAS FINAIS

Apesar da suposta prática de usos de rochas no Brasil mais como revestimentos, entendida assim por não existirem dados que creditem o contrário, não se desconhece que há valioso acervo de obras da arquitetura religiosa e de edifícios públicos no Brasil, a exemplo do que foi pesquisado pela geóloga e professora luso-brasileira Dra. Zenaide Carvalho Silva e que consta em recente publicação de sua autoria intitulada “*O Lioz Português – de lastro de navio a arte na Bahia*” (2007) e a exemplo do que vem sendo estudado pelo também geólogo e professor da

UFMG, Dr. Antonio Gilberto Costa, autor de várias publicações tendo a última o título “*Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas*” (2008).

A tradição européia por sua vez, visualizada em vasto acervo bibliográfico e revisitada nos sites de renomados arquitetos, perpetuou o uso das rochas na arquitetura ora como elemento simbólico-cultural e religioso; ora como elemento estrutural ou de composição plástico-arquitetônica, ou mesmo ornamental, e uma arquitetura diferenciada pode-se assim dizer, sobreviveu à introdução do aço/concreto/vidro nos tempos modernos sem, no entanto, perder a harmonia ou contraste proposital dado pelo uso de rochas em obras arquitetônicas recentes.

Essa revelação suscitou um questionamento durante os estudos preparatórios que antecederam à Feira da UFPE em 2009. Esse mesmo questionamento, conforme já foi sinalizado na introdução deste trabalho, foi levado para o VII Simpósio de Rochas Ornamentais realizado nos dias 12 e 13 de novembro na cidade de Fortaleza, CE (2009) e, aproveitando a presença de produtores, dirigentes de órgãos públicos da mineração e pesquisadores da geologia e da engenharia de minas presentes na platéia, foi questionado mais uma vez: **por que no Brasil, o uso de rochas hoje é restrito aos insumos para as construções, aos revestimentos e mobiliários?** Existe algum outro emprego desconhecido? Por que os arquitetos brasileiros não utilizam as rochas em seus projetos de forma diferenciada?

Com esse questionamento e no intuito de mostrar o que foi pesquisado por alunos “lá fora” e comparar com a marca atual brasileira, a professora arquiteta Risale Neves apresentou inicialmente uma retrospectiva dos investimentos dedicados por iniciativa própria ao uso das rochas na Graduação do Curso de Arquitetura da UFPE desde 2003 e na Pós Graduação em Geociências da UFPE a partir de 2006 (mini-cursos, feiras, workshops). Em seguida as alunas Fabiola Soares e Keity Xavier participantes da pesquisa original complementaram a palestra citando as obras pesquisadas e detalhando apenas uma de cada país enfocado devido ao tempo limitado para apresentação do trabalho conforme já mencionado.

**Da Itália, foi detalhada a Igreja de Peregrinação de Padre Pio (1994-2003)**, situada em San Giovanni Rotondo, Foggia, obra espetacularmente referencial em *pedra armada* cujos blocos de rochas da própria região foram dimensionados e rigorosamente testados. O autor do projeto, o arquiteto genovês Renzo Piano (autor do Museu Pompidou em Paris e do aeroporto de Osaka no Japão), declarou em entrevista, “*não ter aceitado a tarefa por dinheiro, pois, graças a Deus não precisa dele, mas para testar, como leigo e crente, sua dimensão espiritual interior que o levou a conceber a obra em pedra e madeira, dois materiais fortes*”. Assim sendo, construiu uma estrutura monumental, reflexo de tudo o que uma igreja deve representar, conceituada em quatro pilares fundamentais: técnico-estrutural, espaço-funcional, estético-plástico e ideológico-psicológico. Por meio de uma estrutura radial formada por grandes arcadas que convergem para o altar, **mostrou que a rocha não precisa ser usada apenas para revestir, mas que ela tem capacidade e beleza para ser a própria arquitetura**. Os blocos utilizados são de rocha calcária retirados de pedreiras próximas ao local da obra e todos passaram conforme dito acima, por rígido controle do próprio arquiteto – Fotos 02 e 03;



Foto 02 Igreja de Padre Pio do Arquiteto Renzo Piano – San Giovanni Rotondo, Foggia, Itália

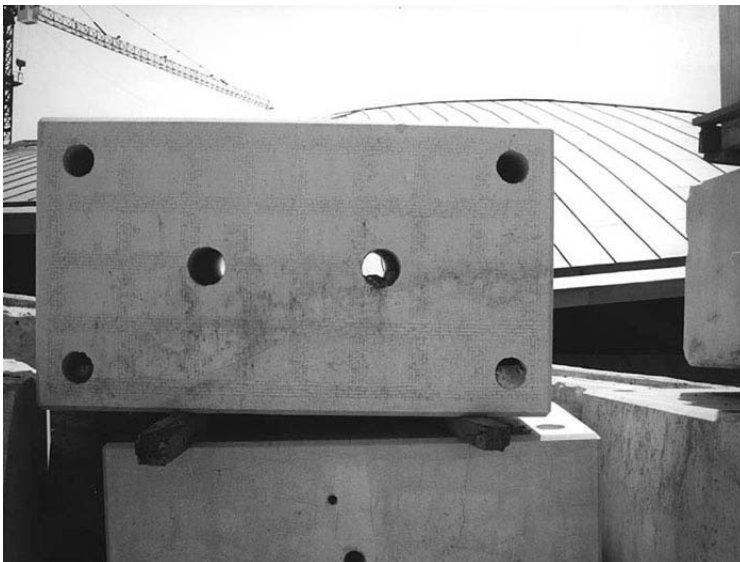


Foto 03 Blocos de rocha da região (Foggia) – Furos p/ encaixe nos cabos de aço da estrutura

Da Espanha, foi enaltecido o “encantamento” com as obras do arquiteto Alberto Campo Baeza. Optou-se pelo prédio do Serviço Nacional de Saúde de Andaluzia (2003) em Almeria, marcante pelo emprego funcional e plástico arquitetônico dos painéis móveis montados em placas de rochas na fachada principal – Foto 04.

*“se propone um edificio en el que las piedras con las que si construye se mueven, se abren o si cierran para dejar pasar al sol”, explica Baesa em memorial exposto na bienal de arquitetura de 2005 em São Paulo e completa: “cuando todas las contraventanas exteriores que son las piedras que se mueven, están cerradas, el prisma se muestra como una caja pétrea hermética”.*

As pedras que se movem na fachada principal, como menciona o arquiteto, são painéis pivotantes que medem 0,90 x 1,80 metro, de fácil movimentação, feitos com finas lâminas da pedra fixadas em discretas molduras de alumínio, dotadas de mecanismo simples para abrir e fechar. *A lumaquela*, uma espécie de rocha calcária formada por fragmentos de conchas, foi o material utilizado na obra tanto nos painéis, quanto nos pisos e paredes;



Foto 04 - Serviço Nacional de Saúde da Andaluzia do Arquiteto Alberto Campo Baeza – Almeria ES

Da **Alemanha**, foi escolhido o Museu Würth em Schwabisch Hall, do arquiteto Henning Larsen's (2001) pelo uso estrutural/compositivo dos blocos de rochas. Das reentrâncias e saliências resultantes de corte natural dos blocos, surgiu um desenho “enrugado” que conferiu à fachada efeito estético incomum. Na estrutura empregou-se o concreto e na composição “em blocos” o *muschelkalk*, mesmo calcário fossilífero das estruturas subterrâneas da cidade – Fotos 05 e 06;



Foto 05 - Museu Wurth do Arquiteto Henning Larsen's - Alemanha



Fotos 06 - Museu Wurth detalhe de fechamentos e modulação de blocos de rochas.

Da **América Latina**, pela evidencia do emprego muito mais em revestimentos, foi escolhida uma obra brasileira do Arquiteto Rui Ohtake, hoje Brasília Alvorada Park Hotel (2000) situado nas margens do Lago Paranoá na capital federal. Esta ultima se revela pela aplicação de mármore e granitos de formas bem variadas em mobiliários, escadarias e pisos. As rochas foram elementos importantes na composição visual, provocando surpresa e emoção nos usuários, sem, no entanto, parecer uma miscelânea devido às grandes dimensões do complexo hoteleiro. Por ser uma obra local, foi conferida *in loco* não havendo evidencia de alterabilidade nas rochas empregadas. As composições de paginação vão desde mármore de carrara, mármore português não identificados e *metaconglomerados*, à rochas graníticas do tipo *arabescos*, *preto tijuca*, entre outras. Esses usos estão evidentes no grande hall (lobby) e em salas de conferências – Fotos 07 e 08.

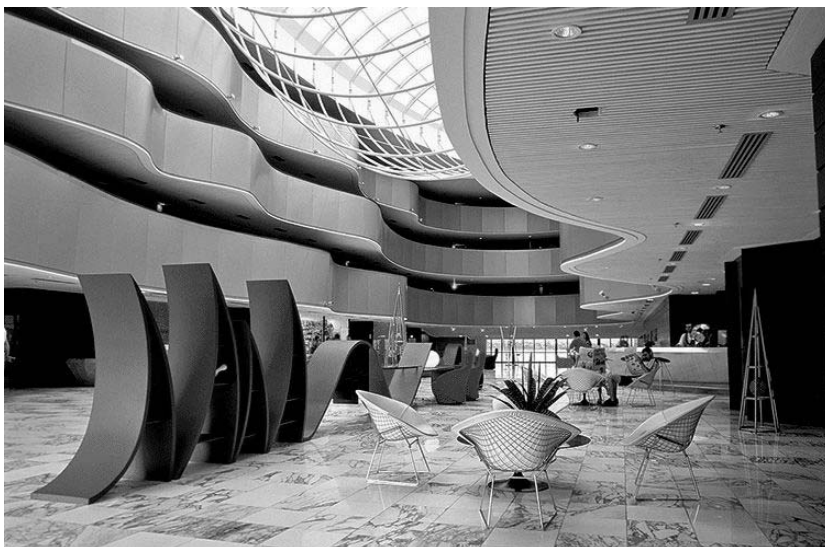


Foto 07 - Vista externa do Alvorada Park Hotel do Arquiteto Ruy Ohtake – Brasília DF.



Fotos 08 - Trechos do espaço hoteleiro - descida do lobby para o piso inferior e hall de convenções.

No VII SRONE, a platéia foi bastante receptiva ao tema, o que gratificou palestrante e alunas, motivando também noticiar o Primeiro Trabalho Final de Graduação em pesquisa sobre **usos de rochas na arquitetura**, no âmbito do próprio Curso de Arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco (com mais de 60 anos de criado), dando continuidade ao trabalho fruto da parceria Geologia/ Arquitetura sob a responsabilidade das professoras Risale Neves (arquitetura) e Lucila Ester Borges (geologia).

O trabalho pioneiro foi apresentado em 14 de dezembro de 2009, de autoria do aluno Lucas Barreta Coradi, brasileiro, graduado agora pela UFPE e residente em Madri, Espanha desde 2004. Foi orientado pela professora Risale Neves, que, da mesma forma que conduziu a pesquisa no *Painel de Rochas*, chamou a atenção do aluno para pesquisar obras de arquitetos renomados que apresentassem em seu contexto usos de rochas não exclusivamente diferenciados, mas usos que retratassem contextualizações diversas desde aquelas arraigadas à cultura do local da obra até os usos absolutamente diferenciados.

Um dos exemplos foi citado no início desse trabalho e mostrado na foto 01: o edifício Sede de Autores e Editores, obra do arquiteto Antón Garcia Abril situada em Santiago de Compostela na Espanha. No total, foram analisados os usos de rochas em 12 obras de autoria dos arquitetos Eduardo Souto de Moura; Antón Garcia Abril (Foto 01); Herzog & De Meuron; Peter



Zumthor; Rafaelle Cavadini; Mario Botta; Álvaro Siza Vieira; Rafael Moneo; Renzo Piano e A. Campo Baesa.

Um segundo trabalho final de graduação, na mesma linha de pesquisa, está sendo desenvolvido pela aluna de arquitetura Keity Xavier, para apresentação no final de 2010, direcionado para a importância do conhecimento da caracterização tecnológica das rochas para uma adequada especificação desses materiais.

Qualquer informação sobre outros usos de rochas diferentes de insumos para construção, pavimentação, revestimentos e mobiliário pode ser enviada para o endereço que segue. Há interesse no conhecimento de usos diferenciados de rochas na arquitetura que porventura existam no Brasil. O grupo de pesquisa está receptivo e contribuições podem ser enviadas para: risaleneves@gmail.com

### NOTAS E AGRADECIMENTOS

Apresentaram conferencia no VII SRONE (2009) – a Arquiteta Risale Neves e as alunas de arquitetura Fabíola Araújo e Keity Xavier, participantes da *Pesquisa sobre Usos Diferenciados de Rochas na Arquitetura*;

A arquiteta participou a convite do Centro de Tecnologia Mineral do MCT- CETEM e as alunas viajaram com apoio da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Agradecimentos à Lucila Borges e alunos participantes, ao CETEM e à UFPE.

### BIBLIOGRAFIA E DADOS EM MEIO ELETRÔNICO

- ALBERS, Bernd. et al. **GERMANIA: L'art di costruire in Pietra**. Mostra Internazionale di Marmi, Pietre e Tecnologia, Verona: Editoriale Faenza Editrice S. p. A, 2004.
- CORADI, Lucas B. **Usos de Rochas na Arquitetura**. 2009. 181f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- CHIUDI FILHO, Cid. Critérios Gerais de Classificação e Especificação de Rochas para Revestimento. **Revista Pedras do Brasil**, Vitória, ES, Ed. 43, p. 36-39, out. 2005.
- FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como Material de Construção. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON. 2007.
- FRASCÁ, M. H. B. O. Durabilidade e Alterabilidade em Rochas Ornamentais e para Revestimento. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, SP, Ed. 180, p. 178-188, jan. - fev. 2005.
- NAVARRO, F. C.; ARTUR, A. C. Caracterização Petrográfica para a Previsão do Comportamento Físico Mecânico de Granitos Ornamentais. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, SP, Ed. 177, p. 164-192, jul. – ago. 2004.
- NEVES, Risale. Projeto de Peças em Mármore e Granitos. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, V, 2005, Recife. **Anais do V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. p 136-145.
- NEVES, Risale; BORGES, Lucila E. P. Os Minerais das Rochas e o Arquiteto na Cadeia Produtiva das Rochas Ornamentais. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. VI, 2007, Rio Grande do Norte. **Anais do VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 380 p. p. 09 -14.

NEVES, Risale; BORGES, Lucila E. P. Ornamental Rock Panel. Initiation into the study of applications in architectonic projects – Interaction between architecture and geology. In: Second International Congress Dimension Stones. II, 2008, Carrara. **Dimension Stones: XXI Century Challenges**. Pisa: Pacini Editore, 2008. p 471-474.

NEVES, Risale. Rochas Ornamentais: o que os arquitetos precisam saber. **Revista Pedras do Brasil**, Vitória, ES, Ed. 47, p. 14-15, abr. 2006.

RODRIGUES, Eleno de Paula. Importância dos Ensaios Tecnológicos em Rochas Ornamentais. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, SP, Ed. 192, p. 184-188, jan. - fev. 2007.

SILVA, Zenaide Carvalho. **O LIOZ PORTUGUÊS, de lastro de navio a arte na Bahia**. Porto: Edições Afrontamento Coleção Álbuns 94, 2007.

TEIXEIRA, Wilson. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

### LINKS PARA OBRAS DE ARQUITETOS E BUSCA

Igreja de San Giovanni Batisti (1964) Arquiteto Giovanni Michelucci

Chiesa di San Giovanni Battista (Chiesa dell'Autostrada) - Google

[http://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa\\_dell'Autostrada\\_del\\_Sole](http://it.wikipedia.org/wiki/Chiesa_dell'Autostrada_del_Sole) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010

[www.youtube.com/watch?v=qf0TyX15RhI](http://www.youtube.com/watch?v=qf0TyX15RhI) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010

Igreja de Padre Pio - San Giovanni Rotondo, Foggia (1991) Arq. Renzo Piano

[www.mastrapasquamarmi.com](http://www.mastrapasquamarmi.com) – La Pietra Armata Renzo Piano / Acesso s jan./abr. 2009.

Serviço Nac. de Saúde Andaluzia (2003) Arquiteto Alberto Campo Baeza [www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura666.asp](http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura666.asp) Arquitetura 361-390, Acessos jan./abr. 2009.

[www.campobaeza.com](http://www.campobaeza.com) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.

Residência do Governo das Canárias (2000) AMP Arquitetos

[www.amparquitectos.com/](http://www.amparquitectos.com/) Acessos jan./abr. 2009

<http://noticias.arq.com.mx/Detalles/2015.html> Acessos jan./abr. 2009.

Igreja da Sagrada Família (1882) Obra continuada pelo Arq. Antoni Gaudi

Igreja da Sagrada Família Barcelona - Google

[www.sagradafamilia.cat/](http://www.sagradafamilia.cat/)

[www.sagradafamilia.cat/docs\\_instit/arquitectura.php](http://www.sagradafamilia.cat/docs_instit/arquitectura.php)

“Wurth” Museum (1977/2000) Schwabisch Hall – Arquiteto Henning Larsen

[www.henninglarsen.com/projects.aspx](http://www.henninglarsen.com/projects.aspx) Acessos jan./abr. 2009.

[www.henninglarsen.com/projects/0400-0599/0473-kunsthalle-a-wuerth.aspx](http://www.henninglarsen.com/projects/0400-0599/0473-kunsthalle-a-wuerth.aspx) - Acessos jan./abr. 2009.

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Schwaebisch\\_Hall\\_Musem\\_Wuerth.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Schwaebisch_Hall_Musem_Wuerth.jpg) Acessos jan./abr. 2009

Embaixada da Índia, Berlim (1999/2001) Arquiteto Léon Wohlhage Wernik

architectureinberlin| Léon Wohlhage Wernik - Google

[www.architectureinberlin.com/?tag=leon-wohlhage-wernik](http://www.architectureinberlin.com/?tag=leon-wohlhage-wernik) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.

[www.leonwohlhagewernik.de/index.php?id=265](http://www.leonwohlhagewernik.de/index.php?id=265) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.

Sinagoga de Dresden (1998/2001) Arquitetos Wandel, Hofer, Lorch e Hirsch  
 Arquitetos Wandel, Hofer, Lorch e Hirsch - Google  
<http://pt.urbarama.com/designer/wandel-hofer-lorch-hirsch> Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.  
<http://pt.urbarama.com/project/dresden-synagogue> Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.  
 Brasília Alvorada Park Hotel (2001) Arquiteto Ruy Ohtake  
[www.royaltulipbrasiliaalvorada.com/](http://www.royaltulipbrasiliaalvorada.com/) Acessos janeiro/abril 2009  
[www.ruyohtake.com.br/index.html](http://www.ruyohtake.com.br/index.html) Acessos jan./abr. 2009, nov. 2010.  
 Museu Latino Americano de Buenos Aires, MALBA (2001) AFT Arquitetos  
<http://helenadegreas.wordpress.com/2010/01/27/malba-museu-de-arte-latinoamericano-de-buenos-aires/> Acesso nov. 2010  
[www.arcoweb.com.br/arquitetura/alfredo-tapia-martin-fourcade-e-gaston-atelman-museu-de-13-11-2002.html](http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/alfredo-tapia-martin-fourcade-e-gaston-atelman-museu-de-13-11-2002.html)  
 Acessos jan./abr. 2010, nov. 2010.

#### OUTROS

Sede Geral de Autores e Editores (2004) Antón Garcia Abril, Santiago de Compostela ES  
[www.ensemble.info](http://www.ensemble.info) Acesso nov. 2010  
[www.ensemble.info/actualizacion/projects/SGAE](http://www.ensemble.info/actualizacion/projects/SGAE) Acesso nov. 2010  
[http://ompn.aidico.es/noticias.php?pagina=483&cat\\_id=483&cxc\\_cat\\_id=75&tampag=10&pag=1&com\\_id=445](http://ompn.aidico.es/noticias.php?pagina=483&cat_id=483&cxc_cat_id=75&tampag=10&pag=1&com_id=445)  
 Acesso nov. 2010  
 Risale Neves Almeida é Arquiteta;  
 Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPE; Mestra em Desenvolvimento Urbano;  
 Idealizadora e Coordenadora do Projeto Aprender na Obra (desde 1998);  
 Idealizadora e Coordenadora das Feiras de Minerais e Rochas da UFPE e do Painel de Rochas Ornamentais em parceria com Geóloga Doutora Lucila E. P. Borges;  
 Idealizadora e Coordenadora da Pesquisa Usos de Rochas na Arquitetura iniciada em 2009;  
 Orientadora do TFG Uso de Rochas na Arquitetura – Lucas Barreta Coradi (2009).  
 Orientadora do TFG Uso de Rochas - Importância da Especificação - Keity Xavier (2010).

# Emissão de radônio em rochas ornamentais

*Yasmin Gavioli<sup>1</sup>, Julio Correia<sup>1</sup>, Adriano Caranassios<sup>1</sup>, Roberto Ribeiro<sup>2</sup>, Vicente Melo<sup>2</sup>*

## RESUMO

*As organizações representativas do setor de rochas ornamentais procuraram a Comissão de Energia Nuclear por meio do Centro de Tecnologia Mineral – Espírito Santo solicitando auxílio quanto a avaliação de níveis de radiação em rochas ornamentais brasileiras, exportadas para os EUA e utilizadas como material de revestimento em residências. Tais exposições indevidas estariam supostamente sendo provocadas pela exalação de radônio proveniente de granitos “exóticos” que estariam aumentando o risco de câncer de pulmão. Com base nisto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de exalação de radônio de placas de revestimento em ambientes indoor, por meio de técnicas nucleares e uso modelos de cálculo de dose consagradas internacionalmente. Para tanto, foram realizadas as caracterizações radiométrica e mineralógica de três tipos de rochas silicáticas utilizadas para revestimento, determinando as taxas de exalação e concentração de atividade do radônio nos materiais escolhidos.*

## INTRODUÇÃO

O setor industrial de rochas ornamentais do Brasil produz uma grande variedade de granitos, mármore, quartzitos etc., atingindo ao todo cerca de 500 tipos diferentes de rochas. As rochas ornamentais são normalmente classificadas da seguinte forma: por nomes comerciais, pelo estado produtor, pelas origens geológicas e composição mineralógica; entretanto, não são classificadas quanto à concentração de substâncias radioativas. O estudo das concentrações de radioelementos em rochas graníticas é importante devido a dois motivos: por se tratar de uma importante ferramenta técnica, visto que estas concentrações podem ser usadas para a classificação petrográfica de granitos, e devido a problemas radiológicos, uma vez que a presença de elementos radioativos proporciona aumento nos níveis de radiação presente na construção civil.

Nas áreas de geologia e de proteção radiológica ambiental, os granitos são exemplos importantes de rochas que apresentam em sua constituição um enriquecimento natural de urânio – 238 (<sup>238</sup>U); tório - 232 (<sup>232</sup>Th) e potássio – 40 (<sup>40</sup>K), quando comparado com outros tipos de rochas, de tal forma que as concentrações destes elementos radioativos estão intimamente correlacionadas com suas respectivas composições minerais e características petrológicas gerais (Whitfiel et al. 1959).

Em termos de mobilidade, o urânio tende a ser altamente móvel perto da superfície da rocha, enquanto o tório é um elemento inerte. Assim, o urânio pode ser facilmente oxidado na forma de solução aquosa e removido dos granitos e pegmatitos por meio do processo de lixiviação e redepositado em sedimentos longe da rocha de origem. Por outro lado, o tório, que é relativamente estável e bem menos solúvel que o urânio e o potássio, não representam uma fácil mobilidade, a não ser por meios mecânicos, como o vento ou pelo processo de erosão. Assim, estas características petrológicas de rochas graníticas associadas aos efeitos do tempo e

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral - CETEM-RJ. E-mail: ygavioli@cetem.gov.br

<sup>2</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) – RJ. E-mail: vicente@ird.gov.br

do metamorfismo produzem alterações expressivas nos diagramas de concentrações dos radionuclídeos naturais: Th, U, K, Th/U e Th/K. Consequentemente, as concentrações de tório, urânio e de potássio em diferentes amostras de granito resultam em sequências individuais de diferenciação deste tipo de rocha (Anjos *et al.* 2004).

### **Radioatividade em materiais de construção**

Pode-se afirmar que o campo de radiação gama existente no interior de uma residência, proveniente dos materiais de construção, é originado, principalmente, pelo decaimento dos radionuclídeos pertencentes às cadeias do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , além do  $^{40}\text{K}$ . Nas cadeias de  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$  existem um número de 16 emissores de radiação gama que emitem radiações com taxa de emissão maior que  $10^{-3}$  fótons por desintegração (Rosa, 1997). A radiação gama, que decorre do decaimento dos radionuclídeos naturais que estão presentes nos materiais utilizados em construção, é gerada de forma isotrópica e, conseqüentemente, com isso, apenas uma fração das emissões originais provavelmente devem atingir o indivíduo exposto no interior da construção (Fernandes *et al.* 2004).

### **Radônio em residências**

A principal forma de entrada do radônio nas residências é por meio de alicerces: espaços entre o solo e o assoalho de porões, drenos, bombas de esgoto, solo exposto, pontos de ligação da construção (argamassa, ligação entre o chão e a parede, canos frouxos ou soltos). O Office of the Surgeon General (órgão americano correspondente ao Ministério da Saúde brasileiro), e a Environmental Protection Agency (EPA) recomendam que se façam testes em todas as casas para detectar a presença de radônio.

A ingestão de água, bem como a inalação de ar com altos níveis do gás radônio, pode representar um risco direto à saúde da população, uma vez que expõe à radiação ionizante células sensíveis dos aparelhos respiratório e gastrointestinal, possibilitando, assim, o adoecimento em virtude da ocorrência de alguns tipos de câncer nesses órgãos. Acredita-se que o radônio é um importante causador de câncer de pulmão, matando cerca de 10 mil americanos por ano (HyperPhysics, 2009).

Os resultados desse trabalho são de grande importância para estudos de proteção radiológica ambiental, uma vez que os granitos são largamente utilizados na ornamentação e revestimento de interiores. Esse interesse tem se tornado tão expressivo que vários países da Europa e da Ásia têm imposto barreiras para a comercialização de granitos brasileiros, uma vez que nas rochas ornamentais raramente são avaliadas com relação à radiação no Brasil. Por outro lado, a origem e os defeitos da radioatividade é um tema pouco difundido no Brasil, sendo assim, é comum surgirem boatos infundados sobre perigos de radioatividade. Infelizmente, este problema não escapa nem do meio acadêmico e científico, quando por vezes é observada a divulgação de conceitos errados sobre estimativas e cálculos de efeitos de taxas de dose de radiação natural sobre a população. Tal fato alimenta a permanência deste ciclo vicioso de inúmeras idéias falsas sobre este tema.

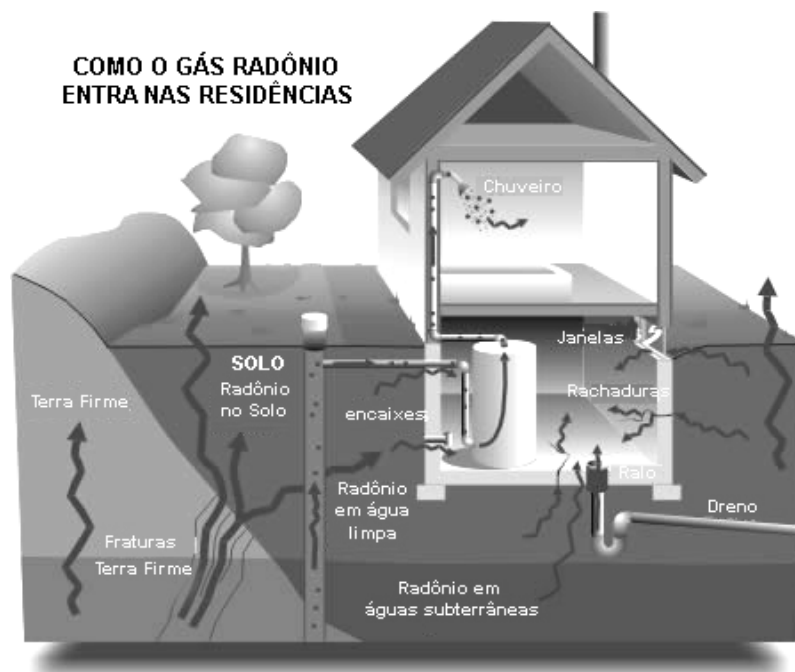


Figura 1 - Como o gás radônio entra nas residências

### Radônio

É um gás incolor, inodoro e sem sabor, além de 7,58 vezes mais pesado que o ar e mais de cem vezes mais pesado que o hidrogênio natural, origina-se do rádio, um membro das séries de decaimento do urânio e tório. Está presente em praticamente todos os lugares da crosta terrestre, e por ser um gás tem a propriedade de se acumular em ambientes fechados como residências, construções, cavernas, minas e túneis. O isótopo  $^{222}\text{Rn}$  é um emissor alfa ( $T_{1/2} = 3,82$  dias) e, juntamente com seus filhos não gasosos  $^{218}\text{Po}$  e  $^{214}\text{Po}$ , é responsável por aproximadamente 50% da dose efetiva equivalente produzida pela radiação ionizante natural. Existe também o  $^{219}\text{Rn}$  e o  $^{220}\text{Rn}$ , que são produtos da série de decaimento do  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , respectivamente. Eles têm o tempo de meia-vida muito pequeno quando comparado ao  $^{222}\text{Rn}$ , sendo o do  $^{219}\text{Rn}$  de 3,96 segundos e o do  $^{220}\text{Rn}$  de 55,6 segundos, assim o radônio-222 é o único capaz de migrar para dentro das casas e gerar preocupações na área da saúde (Chyi, 2008).

O gás radônio é totalmente natural e se forma durante o decaimento do urânio-238, ou seja, tudo começa com átomo de urânio-238.

A Tabela 1, a seguir, ilustra o decaimento do urânio-238 até chegar ao chumbo-206 (Craig, 2008).

ELEMENTO ORIGINAL	ELEMENTO TRANSFORMADO	TEMPO DE MEIA-VIDA	EMISSÃO
Urânio - 238	Tório - 234	4,5 bilhões de anos	Uma partícula alfa
Tório - 234	Protactínio - 234	24,5 dias	Uma partícula beta e um raio gama
Protactínio-234	Tório - 230	269 mil anos	Uma partícula beta e um raio gama
Tório - 230	Rádio - 226	83 mil anos	Uma partícula alfa e um raio gama
Rádio - 226	Radônio - 222 *	1590 anos	Uma partícula alfa e um raio gama
Radônio - 222 *	Polônio - 218	3,925 dias	Uma partícula alfa
Polônio - 218	Chumbo - 214	3,05 minutos	Uma partícula alfa
Chumbo - 214	Bismuto - 214	26,8 minutos	Uma partícula beta e um raio gama
Bismuto - 214	Tálio-210 ou Polônio-214	19,7 minutos	Uma partícula alfa ou uma beta e um raio gama
Polônio - 214	Tálio - 210	150 microssegundos	Uma partícula alfa
Tálio - 210	Chumbo - 210	1,32 minutos	Uma partícula beta
Chumbo - 210	Bismuto - 210	22 anos	Uma partícula beta e um raio gama
Bismuto - 210	Polônio - 210	5 dias	Uma partícula alfa e um raio gama
Polônio - 210	Chumbo - 206 **	138 dias	Uma partícula alfa e um raio gama

\* Radônio é um átomo que forma um gás e possui meia-vida de apenas 3,825 dias. O acúmulo de átomos de radônio resultante do decaimento espontâneo de urânio-238 é a origem do gás radônio, o que significa que as concentrações desse gás são maiores nos locais em que o urânio é mais abundante no solo.

\*\* É um isótopo estável do chumbo.

Tabela 1 - Decaimento do Urânio-238

### Limites Aceitáveis de Gás Radônio

A exposição ao gás Radônio ocorre por inalação, que causa contaminação interna pela deposição de sua energia de decaimento e dos “filhos” na massa dos tecidos e órgãos (dose). Entretanto, de acordo com os padrões básicos vigentes de proteção contra as radiações ionizantes e a segurança de fontes de radiação (SAFETY SERIES No 115), qualquer exposição cuja magnitude ou probabilidade seja essencialmente de natureza tal que o estabelecimento de controles é considerado impraticável deve ser excluída de regulação. O valor de concentração de atividade usado como limite de exclusão é, de acordo com o guia de segurança da Agência Internacional de Energia Atômica (SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.7), de 1 Bq/g para as séries do 238U e 232Th, sendo o valor referido ao precursor (“pai”) de cada série e de 4 Bq/g para o 40K. Esse valor foi determinado com base na distribuição global das concentrações de atividade desses radioisótopos em solos.

Se esse valor de referencia for observado, não é necessária nenhuma ação adicional para reduzir exposições de matérias contendo radioisótopos em teores abaixo do mesmo. Segundo a norma citada acima, o comercio nacional e internacional de commodities contendo 238U e 232Th com concentrações inferiores a 1 Bq/g não deverá ser sujeito ao controle regulatório para propósitos ligados a radioproteção. Nessas condições não são esperadas doses que excedam o limite de isenção de 0,3 mSv.ano-1. Para atividades que excedam o valo de referência por grande diferença (e.g. até 10 vezes maior) a autoridade regulatória poderá ou não exercer controle de acordo com uma avaliação caso a caso. Se couber, a severidade das medidas que poderão ser aplicadas dependerá do nível do risco associado ao material.

No caso específico da exposição ao radônio em residências, são previstas, de acordo com o Safety Series 115, ações em relação à exposição crônica quando os níveis de concentração média anual estiverem entre 200 e 600 Bq/m<sup>3</sup> ou acima de 4 pCi/L de acordo com o guia da US EPA. Normalmente, nesses casos inicia-se uma investigação sobre a origem do mesmo, o qual

pode estar relacionado desde os diversos materiais de construção até as características do solo e histórico do sítio. Ações de remediação só são justificáveis em níveis superiores a 600 Bq/m<sup>3</sup> ou 20 p Ci/L, de acordo com uma análise de custo-benefício, onde fatores sócio-econômico devem ser considerados. Por outro lado, não existe qualquer referência ou limite adotado quanto às taxas de exalação de matérias específicas, uma vez que a exportação dependerá das condições de utilização de cada material, além de vários outros parâmetros.

### Objetivo

Este trabalho visa à avaliação da taxa de emissão do gás radônio em rochas ornamentais brasileiras, tendo em vista a grande importância desses resultados para a saúde dos seres humanos e a influência destes sobre a economia do país.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram analisados três tipos de amostras granitos, conhecidos comercialmente como *Crema Bordeaux*, *Mombassa* e *Golden*, que foram selecionados devido à alta taxa de exportação para a utilização desses granitos na construção civil internacional. As amostras encontravam-se na forma de placas (15 cm x 30 cm x 2 cm) polidas e sem resina. Foram feitos dois tipos de estudos para avaliar a taxa de emissão de gás <sup>222</sup>Rn nestas, sendo um necessário o preparo das amostras e o outro utilizando as rochas no seu estado natural.

#### Rochas no Estado Natural

O estudo em que não foi necessário qualquer tipo de preparação da amostra consistiu de uma câmara de aço inox com 20L e tampas removíveis seladas para retenção do gás. As tampas foram previamente testadas para que houvesse a constatação de nenhum vazamento. Neste trabalho, foram postas, juntamente, duas placas de rochas ornamentais, com as medidas já mencionadas anteriormente, que foram deixadas neste sistema durante sete a oito dias. O gás formado foi injetado em um analisador de gás radônio Alpha Guard 2000 PRQ (Genitron Instruments) em ciclos de uma e duas horas. Durante o período de avaliação, acionou-se um microventilador, que se encontrava dentro da câmara, para que houvesse a circulação do ar interno e assim uma melhor constatação na medida do gás pelo aparelho utilizado. O crescimento da atividade do radônio na câmara permitiu estimar o valor da atividade final para um período correspondente a sete meias-vidas do radônio.

É possível saber a taxa de emissão do gás de cada amostra dentro da câmara por meio da equação 1.

$$A_t = A_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

onde  $\lambda$  é a constante de decaimento do nuclídeo em questão e  $A_0$  é o valor final da atividade durante  $t \sim 7 T_{1/2}$ , aproximadamente 27 dias no caso do gás Rn. A unidade da atividade final  $A_0$  é Bq m<sup>-3</sup>. Esse valor multiplicado pela constante de decaimento do radônio ( $\lambda = 2,724 \times 101 \text{ s}^{-1}$ ) e pela razão entre o volume do recipiente ( $V = 20,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ) e a área do granito,  $F$ , permite obter a taxa de exalação de radônio por unidade de área deste, que é definida como o fluxo de radônio liberado da superfície do material analisado,  $E$ , em Bq m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, ou seja, Becquerel por metro quadrado por segundo, representado na equação 2.

$$E = A_0 \lambda (V / F) \quad (2)$$

Tendo em vista a comparação da emissão de gás radônio com a quantidade de rádio nas amostras foi calculada a “taxa final de emissão de Rn por unidade de massa” com unidade em Bq Kg<sup>-1</sup>, usando a equação 3.

$$C_{Rn} = (A_0 V) / m \quad (3)$$



onde  $m$  é a massa da amostra e  $A_0$  e  $V$  já foram definidos nas Eqs. (1) e (2), respectivamente.

### 3.2 Rochas Moídas

Para o estudo em que foi necessário o preparo das amostras utilizou-se uma análise de espectro- gama. Para tal, foi feita a britagem, moagem e peneiramento a seco.

Neste trabalho, as placas das amostras foram britadas e levadas para a moagem, tendo a conversão a pó ou a pulverização com o auxílio de um pulverizador (Fritsch). O pulverizador foi utilizado com cautela, pois as amostras deveriam, na sua maioria, ficar entre 0,177 mm e 0,149 mm após o peneiramento para se obter um melhor rendimento na análise espectro gama. Logo, foram postas pequenas quantidades de amostra no recipiente do pulverizador (feito de titânio para evitar qualquer tipo de contaminação das amostras), em 400 r.p.m. durante 2 minutos. Depois de retiradas, as amostras moídas eram postas numa pilha de peneiras de 2,360 mm (para retirar as bolas de titânio do pulverizador), 0,177 mm e 0,149 mm, respectivamente, e levadas para o Ro-tap, aparelho de agitação, onde ficaram por cerca de 10 minutos, para que houvesse a total separação da amostra nas peneiras. Apesar da preferência de amostras entre 0,177 mm e 0,149 mm, também foram utilizadas outras amostras que se encontravam abaixo de 0,149 mm. Antes de misturar e homogeneizar estas, foi feita a análise granulométrica, em que se calculou a porcentagem de quanto estava acima ou abaixo de 0,149 mm. Após o peneiramento, as amostras estavam prontas para a análise espectro-gama. Estas foram acondicionadas em recipientes, onde permaneceram em repouso por 30 dias antes de serem medidas no detector (necessário para atingir o equilíbrio secular). Foram empregados detectores de espectrometria gama de alta pureza (Germânio HPGe), que permitiu a identificação da emissão gama do  $^{40}\text{K}$  e dos filhos das séries do U e Th. O tempo de contagem para determinação da concentração de atividade desses núclídeos, em Bq/g, varia de oito a 16 horas, de acordo com a atividade do material. Assim, foi possível comparar os resultados obtidos com o limite de exclusão preconizado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise Granulométrica

A Tabela 2 indica os resultados da análise granulométrica feita nas amostras de *Crema Bordeaux*, *Mombassa* e *Golden*.

Tabela 2 - Análise Granulométrica das Amostras

Fração Granulométrica (mm)	Crema Bordeaux Massa (%)	Mombassa Massa (%)	Golden Massa (%)
+ 0,177	0	0	0
- 0,177 + 0,149	10,29	16,52	10,59
-0,149	89,71	83,48	89,41
Total	100	100	100

### Taxa de Emissão de Gás $^{222}\text{Rn}$

A Figura 2 representa os resultados do teste de avaliação da taxa de emissão de gás radônio nas amostras em seu estado natural, podendo-se observar que as taxas para as amostras

*Crema Bordeaux*, *Mombassa* e *Golden* foram muito baixas,  $3,10 \times 10^{-3}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s),  $1,60 \times 10^{-3}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s),  $6,84 \times 10^{-4}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s), respectivamente.

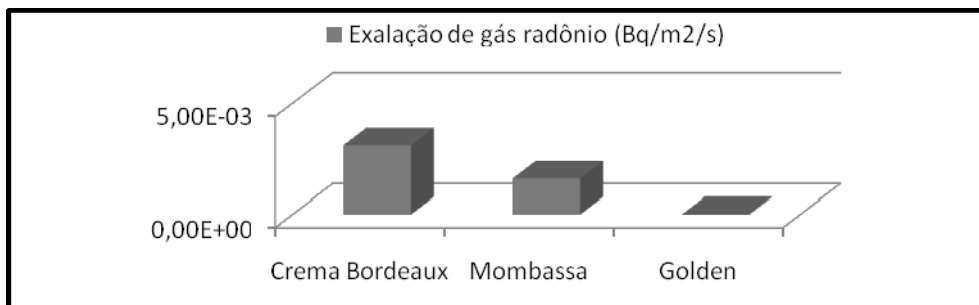


Figura 2 - Taxa de emissão de radônio em cada amostra no seu estado natural

### Análise Radiométrica/Radioquímica

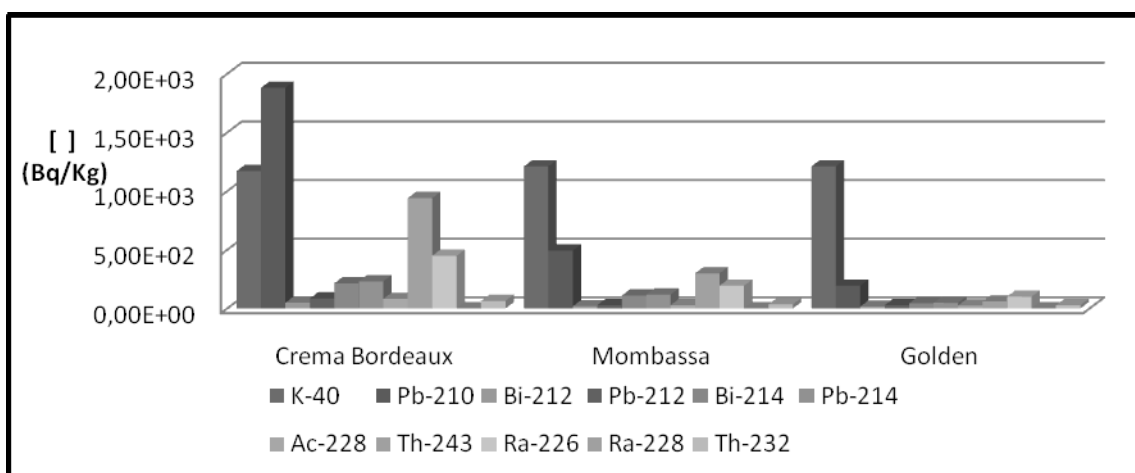


Figura 3 - Distribuição dos Radionuclídeos nas Amostras

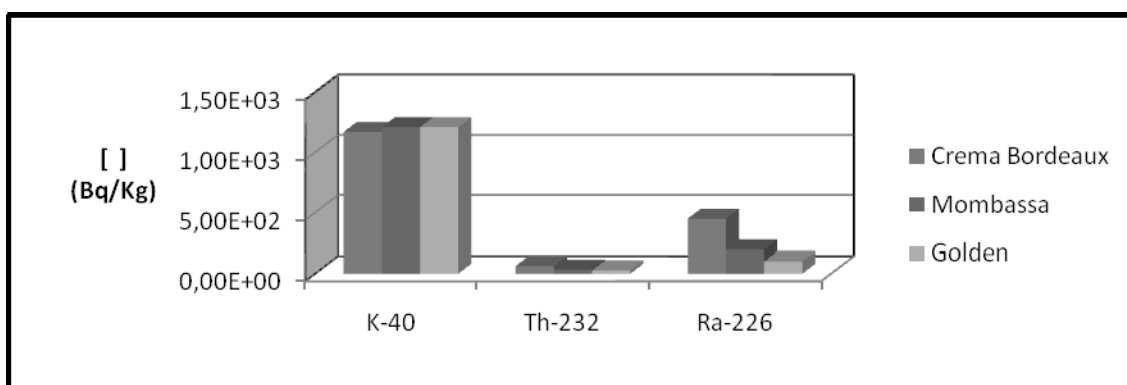


Figura 4 - Principais Radionuclídeos

A Figura 3 apresenta os resultados das análises realizadas em três amostras. As determinações de Ra, K, Th e Gama foram realizadas após o equilíbrio dos radionuclídeos (30 dias) e com um detector de germânio, conforme dito anteriormente na metodologia. As determinações foram feitas por contagens alfa e beta, em um detector proporcional de baixo background, após separações químicas e as medidas de Tório por espectrometria com arsenazo III.

A exposição à radiação se deve, principalmente, aos radionuclídeos expostos determinados na Figura 4. Em que, os elementos  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{226}\text{Ra}$  são formados, por suas séries de decaimento, os gases radioativos  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , respectivamente.

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados desse trabalho, observou-se que a taxa de exalação de gás radônio nas amostras analisadas foi muito inferior as taxas de emanações permitidas pelos órgãos internacionais. Tendo o  $^{222}\text{Rn}$ , radionuclídeo mais perigoso para a saúde humana, apresentado uma das menores taxas de exalação de todos os tipos de radônio. Assim, pode se concluir que os granitos analisados nesse estudo não apresentaram índices preocupantes no que tange a exalação de gás radônio.

## REFERÊNCIAS

- Anjos, R. M., Veiga, R. T. Soares, A.M.A. Santos, J.G. Aguiar, M.H.B.O., Frascá, J.A.P.** et al. Natural Radionuclide Distribution in Brazilian Commercial Granites, Radiation Measurements, 2004.
- Brodsky, A.** Handbook of Radiation Measurement and Protection. CRP Press disponível em: [www.physics.isu/radiumf/natural.html](http://www.physics.isu/radiumf/natural.html), 1978.
- Chyi, L. L.** Radon Testing of Varius Countertop Materials Final Report, 2008.
- Craig Freudenrich, Ph.D., Marshall Brain.** Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/radonio1.htm>. Acessado em 12 de dezembro de 2008.
- Fernandes, H.M.; Rio, M. A. P.; Franklin, M.R.** Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato. Série Estudos & Documentos, n. 56, ISSN 0103-6319, CETEM, 2004.
- HyperPhysics.** Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gu.edu/hbase/nuclear/radon.html>. Acessado em: 20 de janeiro de 2009.
- IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer.**
- Office of the Surgeon General - OSG.** Disponível em: [www.surgeongeneral.gov/](http://www.surgeongeneral.gov/). Acessado em: 25 de fevereiro de 2009.
- Rosa, R.** Exposição Potencial a Radiação Natural no Interior de Residências Devido ao Uso do Fosfogesso na Indústria da Construção Civil. [Tese de Mestrado]. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade de Federal do Rio de Janeiro. 122p., 1997.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency.** Disponível em: [www.epa.gov/](http://www.epa.gov/). Acessado em 21 de janeiro de 2009.
- Whitfiel J. M. ; Rogers, J. J. W.; Adams J. A. S.** The relationship between the petrology and the thorium and uranium contents of some granitic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1959:17: 248-271.

## Resumos da Sessão Poster



## Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos

Carolina Oliveira; Roberto Carlos Ribeiro e Joedy Queiroz<sup>(1,2,3)</sup>

*As atividades de beneficiamento de rochas ornamentais geram uma quantidade significativa de resíduos, parte em forma de lascas de rocha (casqueiros, chapas quebradas), parte na forma de lama, geralmente composta de água, pó de rocha e granalha. Existe uma grande preocupação com o meio ambiente devido à grande quantidade de lama abrasiva gerada nas etapas de beneficiamento, pois estes resíduos podem alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, já que costumam ser lançados no ecossistema sem o devido tratamento prévio. Buscando-se maneiras de mitigar o impacto ambiental gerado por esses resíduos é sugerido seu aproveitamento na aplicação no setor de cosméticos, como por exemplo, na produção de sabonetes esfoliantes. Para tal, foram realizados ensaios de caracterização química e mineralógica de um resíduo oriundo do corte de mármore da cidade de Cachoeiro de Itapemirim. Posteriormente, o resíduo foi submetido a uma secagem e classificação granulométrica. Dessa classificação foram retiradas alíquotas de resíduo nas seguintes frações: 0,037; 0,053; 0,074 e 0,149 mm. Cada fração foi adicionada na produção de sabonetes de glicerina, variando-se seu percentual de 5 a 70%, em massa, em agitação contínua, a uma velocidade de 150 r.p.m., a 60°C, durante 20 min. Após esse período, a massa gerada foi depositada em moldes de madeira para geração de sabonetes. Os sabonetes foram avaliados segundo suas propriedades de densidade, absorção d'água, porosidade, geração de rachaduras e desgaste. Posteriormente, foram testados em cobaias de coelhos albinos até que se observasse alguma variação na pele das referidas cobaias. Melhores resultados indicam a utilização de até 40% de resíduos, em massa, na produção de sabonetes sem que fossem observados problemas como a geração de rachaduras, desgaste excessivo e irritabilidade na pele de cobaias.*

---

<sup>(1,2,3)</sup> Centro de Tecnologia Mineral (CETEM-ES) - Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim  
E-mail: cnoliveira@cetem.gov.br

## **Aplicação do índice de atratividade econômico-geológica (IAEG) para o granito do Complexo Alcalino Floresta Azul, sul do Estado da Bahia**

*Ana Carla Monteiro Salinas<sup>1</sup>; Débora Correia Rios<sup>1</sup>;  
Herbet Conceição<sup>2</sup>; Maria de Lourdes da Silva Rosa<sup>2</sup>*

*O Complexo Alcalino Floresta Azul (CAFA), localizado na porção sul do Estado da Bahia, tem 200 Km<sup>2</sup> de área aflorante, e constitui uma das intrusões da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia (PASEBA). Esta província alcalina instalou-se durante o Cryogeniano (630-850 Ma) e tem sido interpretada como expressão do sistema rifte deste período. O CAFA é um corpo ígneo, com forma alongada na direção NE-SW, sendo constituído por uma intrusão granítica, posicionada a leste, e outra sienítica, situada a oeste, em contato por falha. Neste trabalho, o batólito foi dividido em duas fácies: uma diorítica e outra granítica. A Fácies Diorítica é constituída por quartzo-dioritos, monzodioritos e dioritos, que encontram-se inclusos na fácies granítica, sob a forma de enclaves e diques sin-plutônicos. A Fácies Granítica consiste em uma suíte alcalina, de textura fanerítica, granulação média a grossa, composta por monzo-granitos, granodioritos, sieno-granitos e quartzo-monzonitos, ricos em enclaves dioríticos, que exibem formas diversas. As relações macroscópicas presentes (enclaves arredondados, contatos curvos, granulação mais fina nos enclaves, xenocristais de feldspato alcalino em diorito, diques sin-plutônicos, etc.) encontradas em quase todos os afloramentos deste corpo, constituem evidências indicativas do processo de mistura de magmas. Esse processo, também chamado de mingling consiste numa mistura heterogênea entre dois magmas que apresentam composições, viscosidades distintas. Representando essa mistura tem-se neste complexo, a ocorrência de granitos e dioritos. Na PASEBA, encontram-se os granitos ornamentais de maior valor agregado do Brasil, o “Bahia Azul”. Em regiões localizadas nesta província ocorrem mineralizações de sienito de cor azul, de rara beleza e excentricidade, que tem sido largamente utilizado no mercado ornamental. As rochas da fácies granítica do CAFA tem sido exploradas para uso neste mercado, o que motivou a sua avaliação através do IAEG. O Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) consiste num parâmetro que caracteriza as propriedades físicas de um corpo rochoso, qualificando-as com valores específicos. A avaliação das rochas é feita de forma quantitativa e qualitativa, na qual os números são atribuídos ao “Índice de Atratividade Econômico-Geológica-IAEG”, de acordo com os seguintes intervalos: Muito alto-80 a 100 IAEG; Alto-60 a 80 IAEG; Médio- 40 a 60 IAEG; Baixo- 20 a 40 IAEG; Muito baixo - valores abaixo de 20 IAEG. Esse índice leva em consideração fatores como: cor, textura, homogeneidade, fraturamento, modo de ocorrência, relevo, dureza, infra-estrutura, localização. O cálculo dos índices é realizado através do somatório das pontuações estabelecidas para esses fatores. A aplicação do IAEG às rochas do CAFA resultou em um somatório de 66, o que qualifica estas rochas como sendo de alta atratividade no mercado ornamental*

---

<sup>1</sup> CNPq-Grupo de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral-Universidade Federal da Bahia-Salvador-BA, csalinas0301@hotmail.com

<sup>2</sup> Núcleo de Geologia-Universidade Federal de Sergipe-Aracaju-SE

## **Avaliação da resistência à compressão uniaxial de rochas ornamentais utilizadas como materiais de revestimento**

*Elton Souza dos Santos<sup>1</sup>, Joedy Patrícia Cruz de Queiroz<sup>1</sup>*

*Atualmente, os ensaios em rochas de revestimento abrangem a caracterização tecnológica e os ensaios de alterabilidade, tendo com objetivo obter parâmetros químicos, físicos, mecânicos e petrográficos que orientarão tanto a escolha, como o uso desses materiais na construção civil. Dentre os ensaios de caracterização realizados, a compressão uniaxial é exigível para todas as utilizações possíveis de uma rocha ornamental. Isto porque a tensão de ruptura por compressão uniaxial é indicativa da resistência das rochas ao cisalhamento, quando estas são submetidas à pressão de carga, o que normalmente ocorre em funções estruturais. Com vista disso, o presente estudo utilizou diferentes tipos de rochas (um granito, um gnaisse, um mármore, um quartizito e um gabro), e nelas verificou-se a resistência a esforços compressivos através do ensaio de compressão uniaxial simples, baseado nas normas ABNT e ASTM. Foi realizada também, a análise petrográfica, que fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha e o ensaio de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, que se trata de um método complementar aplicado previamente aos corpos de provas destinados aos testes de compressão uniaxial, cuja finalidade é avaliar, de forma indireta, o grau de alteração da rocha. Os resultados encontrados mostraram que o quartizito possui maior resistência à compressão, com valor médio de 159,04 Mpa, de acordo com os valores estipulados pela ASTM para rochas quartzosas. Os resultados de velocidade de propagação de ondas longitudinais encontrados se mantiveram coerentes com os de compressão. Para o mármore, encontrou-se um valor médio de compressão (114,92 Mpa) mostrando-se acima dos estabelecidos pela norma ASTM, que preconiza valores  $\geq 52$  Mpa para mármore. As rochas de origem ígnea também apresentaram valores dentro do estabelecido na literatura. Com base nos resultados obtidos as rochas estudadas apresentam características apropriadas para serem utilizadas como materiais de revestimento ou para o uso estrutural, uma vez que os resultados encontrados se mantiveram acima dos estabelecidos pela literatura.*

---

<sup>1</sup> Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT; esantos@cetem.gov.br



## **Proposta de utilização de classificação geomecânica no planejamento de lavra de rochas ornamentais**

*Jefferson Luiz Camargo<sup>1</sup> e Leonardo Luiz Lyrio da Silveira<sup>1</sup>*

*Com o objetivo de auxiliar, com informações técnicas, o planejamento de lavra de rochas ornamentais, este trabalho propõe utilizar uma classificação geomecânica para esta finalidade. Inicialmente formulado para área de túneis, seus conceitos em muito podem contribuir para uma compartimentação geotécnica do maciço. Nota-se, hoje, que a grande maioria das empresas que atuam no setor de exploração de rochas ornamentais pouco valoriza as informações de caráter investigativo de cunho técnico-científico para avaliar a viabilidade econômica de tal empreendimento, o que pode aumentar os riscos de insucesso da lavra. O conhecimento de parâmetros estruturais e geomecânicos permitirá uma melhor definição do planejamento de lavra apropriado para cada situação, bem como a tecnologia a ser adotada. Esta pesquisa mostra uma análise preliminar da investigação geotécnica, utilizando a classificação de Bieniawski, em uma pedreira de rochas ornamentais localizada na cidade de Barra de São Francisco, no noroeste do Estado do Espírito Santo. A classificação geomecânica é baseada no princípio da atribuição de pesos a seis parâmetros que Bieniawski considerou contribuir mais significativamente para o comportamento dos maciços rochosos. O somatório dos pesos atribuídos a cada um destes parâmetros constitui um índice, usualmente designado por RMR, ao qual corresponde uma das cinco classes de qualidade de maciços, consideradas pelo autor. Os parâmetros utilizados são os seguintes: 1. Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta; 2. RQD (Rock Quality Designation); 3. Espaçamento das descontinuidades; 4. Condição das descontinuidades; 5. Influência da água; 6. Orientação das descontinuidades. A aplicação da classificação a um maciço rochoso implica a divisão deste em regiões estruturais (classes) a serem classificadas separadamente. As fronteiras destas regiões coincidem usualmente com as estruturas geológicas principais, tais como falhas ou mudanças do tipo de rocha. Em alguns casos, dentro do mesmo tipo litológico, as mudanças significativas no espaçamento das descontinuidades, ou das características destas, podem obrigar a subdivisão do maciço rochoso num maior número de regiões estruturais de menor dimensão. O zoneamento geotécnico teve como finalidade a definição de zonas do maciço com características semelhantes. Com a classificação preliminar do maciço foi possível dividir o mesmo em três zonas, o que possibilitou uma compartimentação do maciço segundo propriedades geotécnicas. Esta pesquisa ainda se encontra em andamento, necessitando da aquisição dos dados de RQD para uma completa classificação geomecânica desta área.*

---

<sup>1</sup> Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM-MCT<sup>1</sup> - jcamargo@cetem.gov.br

## **Avaliação das medidas de reaproveitamento de resíduos de rocha nas marmorarias da região metropolitana de Salvador (RMS) – uma visão preliminar**

*Cláudio Sérgio Oliveira de Rosato<sup>1</sup>; Débora Correia Rios<sup>1</sup>; Herbet Conceição<sup>2</sup>*

*As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas dimensionais e materiais de cantaria, definem na atualidade uma das mais promissoras áreas do setor mineral. Este crescimento resulta da diversificação dos produtos, das novas utilizações das rochas ornamentais e de revestimentos, e das novas tecnologias que aprimoram a exploração e otimização da produção. Durante o beneficiamento secundário das pedras naturais nas marmorarias, cerca de 25% a 30% do volume processado, são transformados em pó, os quais ficam depositados nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240.000 toneladas/ano. Estes números alarmantes têm motivado o desenvolver de pesquisas, objetivando ferramentas que permitam um melhor aproveitamento destes resíduos na construção civil, sejam na produção de argamassas, tijolos cerâmicos, peças cerâmicas e ou concretos. Tais estudos visam detectar as potencialidades destes rejeitos e viabilizar sua seleção preliminar, que hoje é encarado apenas como atividade complementar, que pode contribuir para diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, além de resultar em novas matérias-primas para uma série de setores industriais. A reciclagem dos rejeitos gerados pelas indústrias para uso como matérias-primas alternativas não é nova, e tem sido efetuada com sucesso em vários países. No setor de marmorarias da Região Metropolitana de Salvador (RMS), sob o prisma ambiental e competitivo, tem sido observado e relacionado, especialmente, em relação às características tecnológicas e produtivas, já que é crescente a produção de rochas processadas visando o mercado interno. O maior impasse é o aperfeiçoamento tecnológico ainda muito abaixo do nível ideal para uma competição internacional. Quanto aos impactos ambientais decorrentes desta atividade industrial, estima-se que boa parte da produção dessas empresas gere um quantitativo de resíduos suficientes, que se não bem tratados poderão causar impactos ambientais de relevância. Atualmente muitas dessas empresas descartam seus resíduos em áreas consideradas prioritárias para a preservação ambiental na RMS. Em uma avaliação preliminar constata-se que algumas destas empresas transferem seus resíduos a outras, as quais já possuem um sistema de reutilização em peças de mosaicos, projetos decorativos, e mesmo jardinagem e paisagismo. O objetivo agora é incentivar as demais e sugerir medidas públicas que facilitem o reaproveitamento de resíduos em um maior número de marmorarias, sensibilizando o setor para a melhoria da produção, redução de impactos ambientais nocivos e facilitando assim, o desenvolvimento sustentável deste setor. Esta é a contribuição GPA 249/2009.*

---

<sup>1</sup> GPA – Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral/IGEO/Universidade Federal da Bahia, crosato@ufba.br;

<sup>2</sup> Núcleo de Geologia Básica, Universidade Federal de Sergipe

## **Avaliação de recursos minerais de rochas ornamentais: estudo de caso do quartzito verde de Lajes – RN**

*Ely Brasil de Arruda Luna Cavalcanti<sup>1</sup>; Júlio César de Souza<sup>2</sup>;  
Eldemar de Albuquerque Menor<sup>3</sup>*

*Este trabalho é parte da dissertação “Ocorrência de quartzito verde-esmeralda no município de Lajes/RN e sua viabilidade como rocha ornamental,” defendida no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Após a caracterização tecnológica que comprovou as qualidades ornamentais do material da área estudada foi efetuada uma avaliação econômica do recurso mineral caracterizado como rocha ornamental, que apresentamos no presente trabalho. A definição da reserva total foi efetuada partindo-se de uma interpretação geológica desenvolvida no software Datamine Studio 2.0, com ênfase na modelagem de blocos. Após essa avaliação inicial, baseada no levantamento geológico de detalhe da área, foi desenvolvido o cálculo das reservas medidas através do método das seções homogêneas com utilização do software Autocad versão 2006. A análise global dos resultados dos dois métodos de cubagem permite a estimação dos recursos geológicos totais da área de pesquisa e a definição da reserva medida de rocha ornamental. Essa metodologia é proposta como padrão para avaliação de reservas de rochas ornamentais, com as ressalvas expostas no artigo*

---

<sup>1</sup> Geóloga, Doutoranda PPGGeo/CTG, UFPE;

<sup>2</sup> Professor adjunto, Dr. Eng<sup>a</sup>, Depto de Engenharia de Minas, UFPE

<sup>3</sup> Professor adjunto, Dr. Eng<sup>a</sup>, Depto de Geologia, UFPE

## **Avaliação do efeito do ácido úrico e uréia na alterabilidade de rochas ornamentais**

*Vanessa Machado Daniel<sup>1</sup>; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro<sup>1</sup>;  
Nuria Fernández Castro<sup>1</sup>; Joedy Patrícia Cruz Queiroz<sup>1</sup>*

*As rochas Ornamentais por sua resistência, durabilidade e variação de tonalidade são muito utilizadas na construção civil como rochas de revestimentos em edificações. Entretanto, estão sujeitas a deterioração natural, acelerada devido às más condições de uso, aplicação e intemperismos. As manifestações patológicas freqüentemente observadas nos materiais pétreos são modificações na coloração, manchas, oxidação, bolor, perda de brilho, entre outras. Substâncias ácidas são os principais agentes de alteração em revestimentos e ocorre pelo ataque físico-químico dos minerais constituintes das rochas. Dessa forma este trabalho tem como objetivo identificar as patologias que possam ocorrer durante a exposição de alguns materiais a ação do ácido úrico e ureia presentes na urina. Para a este trabalho foram selecionados oito granitos denominados comercialmente: Preto Raidho, Material CINZA, Ocre Itabira, Cinza Corumbá, Vênus, Falcon Brown, Golden Cristal e Branco Siena, um Mármore: Branco Cintilante e um Calcário: Cariri, e submetidos ao ensaio de índices físicos onde a rocha sofre aquecimento em estufa para a retirada de água para posteriormente ser submetida a uma saturação em água a temperatura ambiente e assim obter a massa específica aparente seca, saturada, porosidade aparente e absorção de água. Posteriormente estes materiais foram submetidos à ação da urina, ficando expostos por uma semana e observados às alterações que surgiram. A alteração produzida nos materiais foi correlacionada com os resultados dos índices físicos e realizada a modelagem molecular mediante a qual se realizou o processo de interação do ácido úrico e a uréia com cada mineral, determinando-se os tipos de ligação segundo variações de energia potencial. No resultado da modelagem molecular observaram-se a formação de ligações intermoleculares do tipo hidrogênio associadas às ligações do tipo dipolo-dipolo, entre a ureia e o ácido úrico com as moléculas dos minerais constituintes das rochas. Pode-se verificar que todas as rochas apresentaram alterabilidade, especificamente manchamento em sua superfície, intensificadas ou não pelo o seu grau de porosidade. As rochas menos porosas (mármore Branco cintilante, Vênus, branco siena, Golden cristal e Preto Raidho) tiveram menor manchamento, já nas mais porosas (Falcon Brown, Cinza Corumbá Material Cinza e Calcário Cariri) foram observados manchamentos mais intensos. Contudo os componentes principais da urina e sua capacidade de criar as ligações observadas na modelagem molecular, são os responsáveis pelo manchamento nas rochas.*

---

<sup>1</sup> Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCT.  
rcarlos@cetem.gov.br

## **Caracterização da deterioração do mármore componente das banheiras históricas situadas no Parque Nacional da Tijuca**

*Beatriz Martins Morani<sup>1</sup>; Roberto Carlos C. Ribeiro<sup>1</sup>  
e Joedy Patrícia Queiróz<sup>1</sup>*

*O Parque Nacional da Tijuca está situado na zona central cidade do Rio de Janeiro. Distribuídas nele, existem cinco banheiras esculpidas em mármore branco, segundo historiadores, proveniente de Carrara – Itália e teriam sido trazidas ao Parque durante o século XIX. A ação das intempéries associada à atuação do homem conduz à destruição do que por ele tem sido criado através de milênios, a exemplo, os monumentos históricos. O caso das banheiras da Floresta da Tijuca não é diferente. A atuação destes agentes tem resultado em uma série de patologias danificadoras tanto da estética, quanto da integridade física das peças. Baseado nestes fatores e tendo como finalidade a caracterização da deterioração do mármore que compõe essas banheiras, foram realizados: reconhecimento de campo; coleta de amostras; submissão destas à análises química, petrográfica, à difração de Raios-X; ao MEV e ao EDS. Os resultados demonstraram que a maioria das patologias encontradas – e por consequência a deterioração – nas peças estão relacionadas principalmente aos agentes intempéricos associados à falta de manutenção.*

---

<sup>1</sup> CETEM - Centro de Tecnologia Mineral-Ministério da Ciência e Tecnologia. rcarlos@cetem.gov.br

## **Caracterização tecnológica de um corpo gabróico para utilização de rocha ornamental**

*Francisco Diones Oliveira Silva<sup>1</sup>; José de Araújo Nogueira Neto<sup>1</sup>;  
Bruno Lima Gomes<sup>1</sup>; Igor Gothardo Nóbrega Ferreira<sup>1</sup>.*

*A utilização correta das rochas e demais materiais pétreos requer o conhecimento prévio de suas propriedades, ou seja, as aplicabilidades de um material direcionada a um fim específico não deve ser determinada sem o conhecimento dos seus parâmetros tecnológicos, tão pouco, sem levar em consideração as condições às quais o material estará sendo submetido. Este trabalho teve por objetivo caracterização de um corpo gabróico para a sua utilização em rochas ornamentais. Os ensaios tecnológicos realizados nesse material, que seguiram os procedimentos normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, foram os índices físicos (NBR 12766/92), resistência à compressão uniaxial simples (NBR 12767/92), resistência ao impacto de um corpo duro (NBR 12764/92), desgaste por abrasão (NBR 12042/92) para que se obtivesse as características de suas propriedades físicas. O resultado dos ensaios foi comparado aos parâmetros sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e as normas americanas ASTM- C 615 (American Society for Testing and Materials) onde mostraram que o material possui ótima qualidade para aplicabilidade em diversos ambientes, internos e externos, pisos, paredes internas e fachadas de edificações, devido a suas características de cor e textura.*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, diones.geologia@yahoo.com.br

## Caracterização tecnológica dos mármorees do complexo Pio IX, município de Pio IX, PI

*Emanoel Baracho Lopes<sup>1</sup>; Débora Pinho Cavalcante<sup>1</sup>; Irla Gonçalves Barbosa<sup>1</sup>; José de Araújo Nogueira Neto<sup>1</sup>; Ariston Araújo Cajaty<sup>1</sup>; Sheldon Sarmiento de Menezes<sup>2</sup>*

*Os mármorees do Complexo Pio IX localizam-se no município de Pio IX no Estado do Piauí, são também observados em menor quantidade nos municípios de Fronteiras- PI e Aiuaba / Campos Sales-CE. Apresentam-se em formas lenticulares, descontínuas, distribuídas na porção intermediária da seqüência metapelítica, de extensão quilométrica, disposta na direção N/S até a porção SE, onde assume uma direção NE/SW. Os mármorees fazem parte das seqüências metassedimentares e metavulcanosedimentares inseridas no contexto geológico da Seqüência Orós-Jaguaribe da Província Borborema Setentrional, no nordeste do Brasil. A pesquisa apresenta dados de ensaios de caracterização tecnológicos. As características básicas observadas nos mármorees da região são: granulação fina a média, textura granoblástica, cor variando de cinza platina, azul, champagne a branco. A composição mineralógica apresenta grande percentual em calcita, variando entre 90 e 95%, por vezes muscovita, em quantidade menor que 5% e ainda foram reconhecidos quartzo, feldspatos, tremolita e minerais opacos (sulfetos com predominância de pirita) em quantidades inferiores a 2%. Constatou-se que os mármorees são mais abundantes e mais calcíticos no extremo sudoeste da região, entre os municípios de Pio IX e Aiuaba e mais magnesianas na porção centro-leste da Faixa. Contudo, de acordo com sua localização, o litotipo proporciona uma variação litológica entre rochas calcissilicáticas com diopsídio, metaconglomerados carbonatados, mármorees calcíticos quase puros, mármorees dolomíticos com escapolita, brechas de dissolução com leucita e nódulos de sulfato pseudomorfizados por quartzo fibrorradiado, metadolomitos petalóides e magnésíticos, indicando um ambiente de formação evaporítico. Os ensaios de caracterização tecnológicos dos mármorees, seguiram as normas da ABNT, e cujos resultados foram: peso específico aparente seco 2,73 g/cm<sup>3</sup>; peso específico aparente saturado 2,73 g/cm<sup>3</sup>; absorção d'água 0,12%; porosidade 0,34%; resistência ao desgaste abrasivo 2,39 mm/ 1.000m; resistência à flexão 151,3 kgf/cm<sup>2</sup>; resistência à compressão axial simples seco 1.089 kgf/cm<sup>2</sup>; resistência à compressão axial simples saturado 980 kgf/cm<sup>2</sup>; módulo elástico estático seco 718.000 kgf/cm<sup>2</sup>; módulo elástico estático saturado 635.000 kgf/cm<sup>2</sup>; módulo elástico dinâmico seco 829.000 kgf/cm<sup>2</sup>; módulo elástico dinâmico saturado 775.000 kgf/cm<sup>2</sup>; alvura 90,28%; amarelidez 1,15%; absorção de óleo 26,70 ml/100g. Com as características físico-mecânicas os mármorees analisados qualificam-se por serem aplicáveis em rochas ornamentais e de revestimento.*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, DeGeo, [emanuelbaracho@gmail.com](mailto:emanuelbaracho@gmail.com)

<sup>2</sup> Mineração Granistone S/A

## **Utilização de modelagem molecular como ferramenta para avaliação da interação entre resinas e rochas ornamentais no processo de resinagem**

*Karen Gonçalves Rachele<sup>1</sup>; Roberto Carlos da Conceição Ribeiro<sup>1</sup>;  
Julio Cesar Guedes Correia<sup>1</sup>*

*O processo de resinagem em rochas ornamentais é de extrema importância, pois a resina tem a função de estruturar o material e melhorar a qualidade da superfície da chapa. No entanto, devido à grande variedade de rochas ornamentais encontradas no Brasil observam-se comportamentos diferenciados quanto à adsorção das resinas à superfície de algumas rochas, podendo ocorrer trincamentos e geração de bolhas na superfície da chapa da rocha. Baseado nisto, pretende-se determinar qual o mineral, presente na estrutura de um granito, é responsável pela melhor interação com a resina utilizada no processo de resinagem. Para tal, foram realizados ensaios de adsorção em laboratório, além da simulação da interação resina/minerais, por meio de modelagem molecular. Pôde-se verificar que o mineral feldspato, presente na estrutura do granito, apresentou os melhores resultados de adsorção química, e este resultado foi corroborado pelos ensaios de modelagem molecular. Com isso, conclui-se que a modelagem molecular é uma ferramenta capaz de prever o comportamento da resina frente à adsorção na superfície das rochas ornamentais e juntamente com análises mineralógicas prévias dos materiais podem indicar uma resina adequada para cada tipo de rocha.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/MCT - e-mail: krachele@cetem.gov.br



## **Estudo comparativo de reserva mineral na pedreira de granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE com utilização de recursos da simulação virtual**

*Oderdan José de Santana<sup>1</sup>; Júlio César de Souza<sup>2</sup>; Vanildo Almeida Mendes<sup>3</sup>*

*Este trabalho é parte da dissertação “Otimização da Lavra na Pedreira de Granito Vermelho Frevo, através dos Recursos da Simulação Virtual,” defendida no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. A partir do modelo digital elaborado com os dados levantados em campo de aspectos topográficos, texturais e geo-estruturais, foi possível fazer-se uma série de simulações com respeito as direções de futuras frentes de lavra, visando determinar a recuperação de blocos e, conseqüentemente o rendimento da lavra. Todo processo simulado no computador objetivou identificar as fraturas e os defeitos existentes no maciço rochoso e seu posicionamento espacial. O modelo comparativo apresentado no presente trabalho parte de uma simulação no ponto de vista do valor comercial, simulando a retirada de blocos na direção da frente de lavra já existente em relação a uma nova frente de lavra orientada na direção das fraturas principais, visando determinar a direção das bancadas mais lucrativas para operação da pedreira.*

---

<sup>1</sup> Depto de Expressão Gráfica, UFPE

<sup>2</sup> Depto de Engenharia de Minas, UFPE

<sup>3</sup> Serviço Geológico do Brasil, CPRM

## **Estudos preliminares da utilização de resíduos oriundos do beneficiamento da pedra sabão em pavimentação asfáltica**

*Marceli do Nascimento da Conceição.<sup>1</sup>; Roberto Carlos da C. Ribeiro <sup>1</sup>;  
Julio C. Guedes Correia<sup>1</sup>*

*Mata dos Palmitos, município de Ouro Preto, MG, tem sua economia voltada para o beneficiamento da pedra sabão. Esse processo é rudimentar e os resíduos gerados são considerados um grave impacto ambiental. Baseado nisto, o objetivo desse trabalho é verificar a possibilidade de desses resíduos no processo de pavimentação asfáltica, que utiliza 95% de agregados minerais e 5% de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Para tal, foram realizados ensaios de caracterização tecnológica do resíduo, por meio de DRX e MEV. O CAP foi caracterizado por meio de RMN de <sup>13</sup>C e <sup>1</sup>H . Por fim, realizaram-se estudos de interação resíduo-CAP, por meio de adsorção e modelagem molecular. Resultados indicaram a potencialidade de utilização do resíduo em pavimentação uma vez que os valores de adsorção do CAP no resíduo chegaram a 95% e os resultados de modelagem molecular indicaram a melhor interação química, apresentando os menores valores de energia potencial, em torno de 5,5 kJ. No entanto, faz-se necessário a realização de ensaios mecânicos com o pavimento para conclusões mais concretas.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/MCT. rcarlos@cetem.gov.br

## **Evidências petrográficas do intemperismo em rochas ornamentais na região litorânea do Recife – PE**

*Suely Andrade da Silva<sup>1</sup>; Felisbela Maria da C. Oliveira<sup>2</sup>;  
Eldemar de Albuquerque Menor<sup>3</sup>; Júlio Cesar Desouza<sup>4</sup>*

*Neste estudo são discutidas alterabilidade e durabilidade de rochas ornamentais em revestimentos externos prediais localizados na região litorânea do Recife. Alterações estéticas das rochas ornamentais são cada vez mais freqüentes, mesmo em edificações novas. As rochas tendem, naturalmente, a se alterar pela exposição às novas condições ambientais e de uso, o que pode se acelerar ante as agressividades climáticas, a ação de poluentes atmosféricos e a adoção de procedimentos construtivos e de manutenção inadequados. Esses problemas ocorrem principalmente em cidades brasileiras, situadas em regiões litorâneas. A análise petrográfica enfocou principalmente a identificação, quantificação e determinação das inter-relações dos minerais essenciais, observação e descrição das feições julgadas, a priori, condicionadoras da degradação, e também a presença de minerais potencialmente instáveis. Os ensaios das amostras in natura foram correlacionados com os aspectos mineralógicos texturais e estruturais desses materiais, visando melhor entendimento dos respectivos comportamentos físico-mecânicos, diante do processo de alteração. Em condições naturais, as rochas de superfície ou de subsuperfície, ou seja, em profundidades ainda sob influência térmica da insolação, apresentam alterações supergênicas. Dentre estas, se alinham aquelas de efeito físico assim como as de origem química. Alterações de efeito físico resultam dos diferenciados coeficientes de dilatação dos vários minerais constituintes das rochas. A diuturna e prolongada variação de temperatura resulta em ininterrupto processo de dilatação-contração-dilatação criando tensões nas estruturas cristalográficas, esforços estes que resultam em microfissuramentos. A intensidade deste fenômeno é proporcional à exposição da rocha à insolação e quanto maiores forem os contrastes térmicos diurnos. Tal processo está nos primórdios da “arenização” de rochas e, inevitavelmente, não deixa de ser exercido em placas lustradas, particularmente aquelas que compõem fachadas.*

---

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Mineral - UFPE, [suelyandrade@ufpe.br](mailto:suelyandrade@ufpe.br)

<sup>2</sup> Prof<sup>a</sup> Dra. Depto. Geologia – UFPE, [felisbela.oliveira@ufpe.br](mailto:felisbela.oliveira@ufpe.br)

<sup>3</sup> Prof. Dr. Depto. Geologia – UFPE, [menor@terra.com.br](mailto:menor@terra.com.br)

<sup>4</sup> Prof. Dr. Depto Engenharia de Minas – UFPE, [jcsouza@ufpe.br](mailto:jcsouza@ufpe.br)

## **Granitos exóticos – a nova tendência no mercado de rochas ornamentais do estado do Ceará**

*Saulo de Almeida Gomes<sup>1</sup>; Fernando Antônio da Costa Roberto<sup>1</sup>;  
Francisco Heury Fernandes da Silva<sup>2</sup>*

*O estado do Ceará devido ao seu condicionamento geológico no qual cerca de 75% do seu território é ocupado pelo embasamento cristalino, oferece condições favoráveis a ocorrência de litotipos diversos com características passíveis de aproveitamento no setor de rochas ornamentais e revestimento. Atualmente, o estado ocupa o 4º lugar nacional na produção de blocos brutos com um total anual de 430.000 toneladas, dentre “Granitos” e Pedra Cariri, na maioria enquadrada dentre os materiais do tipo “clássicos”. Nos últimos anos um tipo novo de material vem despertando o interesse das empresas deste setor, em contraposição aos chamados materiais clássicos, que são os granitos do tipo “exóticos”. Tais materiais se caracterizam por suas características estéticas diferenciadas e peculiares tornando cada um praticamente como único no mercado, ao contrário dos clássicos que normalmente seguem alguns padrões como, por exemplo, as cores (cinzas, verdes, vermelhos, brancos, etc.). No Ceará alguns litotipos começaram a ser pesquisados e explorados principalmente por empresas do estado do Espírito Santo, destacando-se áreas nos municípios de Sobral (Amarula e Nougat), Massapê (Nacarado), Cariré (Elegant Brown) e São Gonçalo do Amarante (Palomino, Espinela e Roma Imperiale) que correspondem petrograficamente a rochas diversas dentre conglomerados, brechas, quartzitos, arenitos e rochas vulcânicas traquitóides. Com relação ao modo de ocorrência, os materiais exóticos no Ceará se caracterizam por ocorrerem em maciços, por vezes formando altos topográficos como serrotes. A metodologia de extração é a céu aberto com uso contínuo de fio diamantado tendo em vista que em praticamente todos ocorrem estruturas desfavoráveis ao esquadramento dos blocos tais como trincas, descolorações e alterações intempéricas, o que implica em relação estéril/minério alta, normalmente em torno de 70-80%. Entretanto, pela alta valorização destes materiais, principalmente no mercado externo americano, atribuída as suas características estéticas, que proporcionam um alto preço dos blocos, oscilando na faixa entre U\$\$ 1.000 a 1.500/m<sup>3</sup> para os de primeira categoria, a relação custo/benefício acaba por fazer com que a exploração seja economicamente viável. Atualmente todas as jazidas conhecidas são exploradas através de guias de utilização divididas entre aquelas ainda em curso do alvará de pesquisa e outras com relatório final de pesquisa apresentado e/ou aprovado, tendo em vista serem áreas recentes para possuírem portarias de lavra. Os locais que tem se mostrado mais promissores para a ocorrência destes materiais tem sido na área relativa ao Domínio Médio Coreaú (extremo noroeste da Província Borborema) principalmente ao longo de falhas e/ou zonas de cisalhamento, o que resulta em feições texturais peculiares devido à interação de estruturas resultantes de tectonismo com uma variada gama litológica.*

---

<sup>1</sup> Departamento Nacional de Produção Mineral – 10º Distrito/CE, saulo.gomes@dnpm.gov.br

<sup>2</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) - Divisão de Materiais (DIMAT)

## Mapeamento geológico de uma porção da área situada entre os municípios Aiuaba/Campos Sales – CE e Pio IX/Fronteiras – PI e caracterização tecnológica de gnaisses situados a sudeste do Município de Pio IX

*Débora Pinho Cavalcante<sup>1</sup>; Irla Gonçalves Barbosa<sup>1</sup>; Emanuel Baracho Lopes<sup>1</sup>; José de Araújo Nogueira Neto<sup>1</sup>; Ariston Araújo Cajaty<sup>1</sup>; Sheldon Sarmento de Menezes<sup>2</sup>*

*O trabalho trata de mapeamento geológico e da caracterização tecnológica de dois litotipos existentes em área estudada situada no âmbito dos Estados Ceará/Piauí, nos municípios de Aiuaba, Campos Sales, Pio IX e Fronteiras, e cuja caracterização tecnológica foi efetuada em amostras coletadas de pedreiras localizadas em Pio IX. A área possui 200 Km<sup>2</sup> e foi mapeada em escala 1:25.000. As litologias, da base para o topo, foram reconhecidas como: i - Embasamento Cristalino (Paleoproterozóico), constituído por biotita hornblenda gnaisses e augen gnaisses, tais rochas são exploradas comercialmente e são denominadas respectivamente por Capolavoro e Speranza; ii - Complexo Pio IX (Mesoproterozóico), composto por muscovita gnaisses (Unidade Lagoa do Cachorro), e orto/paragnaisses com níveis de calcissilicáticas e intercalações de mármores calcíticos, filitos e quartzitos (Unidade Baixo Verde); iv - Sieno granitos e leucogranitos, provavelmente Neoproterozóicos; vi - Cataclasitos ferríferos por vezes brechados, enquadrada no Cambro-ordoviciano (Paleozóico). O metamorfismo enquadra-se em fácies anfíbolito com retro-metamorfismo em condições de fácies xisto-verde e, possivelmente, todo o conjunto do embasamento e granitos foi submetido a processo de hidrotermalismo, resultando em marcante epidotização ao longo de fraturas e descontinuidades estruturais. Estruturalmente o embasamento cristalino apresenta foliação  $S_n$ , dobrada e paralela a  $S_{n+1}$  e  $S_{n+2}$ , esta última relacionada a Zona de Cisalhamento Dúctil de Jordão. Em escala regional, observa-se uma megadobra ( $D_n$ ) na porção central da região, além de micro-dobras e lineações de estiramento mineral ( $L_{n+1}$  e  $L_{n+2}$ ).  $S_n//S_{n+1}//S_{n+2}$  apresentam direção NE-SW e mergulhos que variam de sub-vertical a vertical. As feições rúpteis correspondem às fraturas que englobam todas as rochas da região. A caracterização tecnológica dos gnaisses descritos acima foi efetuada por meio de ensaios voltados as rochas ornamentais, conforme Normas da ABNT, e cujos resultados vêm a seguir: massa específica aparente, 2,89 e 2,90 Kg/m<sup>3</sup>; porosidade aparente, 0,25% e 0,78%; absorção de água, 0,09% e 0,28%; resistência à compressão uniaxial simples no estado seco, 176Mpa e 119 Mpa; velocidade de pulso ultra-sônico, 5.800 m/s e 6.179 m/s; coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R%), 84,7 e 84,9; resistência à flexão de três pontos no estado seco 10,11 MPa e 12,46 MPa; resistência à flexão de quatro pontos no estado seco 13,82 Mpa e 7,80 Mpa; desgaste por atrito (Amsler) a 500 m com 0,19 mm e 0,56 mm, e a 1000m com 0,42 mm e 1,09 mm; resistência ao impacto de corpo duro com ruptura em 0,64 m e 0,75 m; coeficiente de dilatação térmica linear  $6,3 \times 10^{-3}$  mm/m°C e  $7,5 \times 10^{-3}$  mm/m°C. Ambos os litotipos, no ensaio de alterabilidade com ácido clorídrico a 18%, apresentaram maior perda de brilho, e na resistência ao manchamento, os agentes não apresentam resistência à remoção. Os litotipos analisados qualificam estes materiais aplicáveis como rochas ornamentais e de revestimento, com algumas restrições para ambientes úmidos devido ao coeficiente de enfraquecimento hidráulico.*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, DeGeo, deborapinhocavalcante@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Mineração Granistone S/A

## **Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**

*Ramires Machado<sup>1</sup>; Roberto Carlos Ribeiro<sup>1</sup>; Felipe Vaz Andrade<sup>2</sup>; e Renato Passos<sup>2</sup>*

*A grande maioria dos solos brasileiros apresenta em forma quase generalizada características químicas inadequadas, tais como elevada acidez, altos teores de alumínio (Al) trocável e deficiência de nutrientes. A calagem consiste na aplicação e incorporação de calcário à camada arável do solo, que é a área de maior concentração de raízes, visando a correção da acidez do solo (pH), a neutralização do Al, tóxico às plantas, e o incremento nos teores de Ca e Mg. Os calcários representam a quase totalidade dos corretivos empregados no estado do Espírito Santo. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo os mais promissores a escória de siderurgia e o pó de mármore. Nesse sentido, a grande quantidade de resíduos oriundos do setor de rochas ornamentais constitui atualmente um sério problema ambiental, com o estoque e manejo desses resíduos, que ocupa áreas de descarga cada vez maiores, além dos inconvenientes ecológicos. Sendo assim o presente trabalho visa estudar a aplicação de rejeitos e resíduos de pedreiras como corretivos ou como fontes de nutrientes na agricultura, avaliando os efeitos da aplicação de corretivos aplicados ao solo na elevação dos valores de pH e na disponibilidade de Ca e Mg; contribuir para a valorização econômica da indústria de rochas ornamentais, transformando rejeitos e resíduos em subprodutos; reduzir impactos ambientais e, simultaneamente dar uma contribuição efetiva aos pequenos e médios produtores agrícolas disponibilizando material fertilizante a baixo custo. Os resultados laboratoriais preliminares indicam a possibilidade de utilização de pó de mármore e pó de mármore/pó de rocha como corretivos da acidez do solo.*

---

<sup>1</sup> CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia - Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim- ES – CACI - [rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

## Principais problemas patológicos relacionados com pisos e fachadas de Fortaleza

*Joaquim Raul Ferreira Torquato<sup>1</sup>; Maria de Fátima Bessa Torquato<sup>1</sup>;  
José de Araujo Nogueira Neto<sup>2</sup>; Francisco Heury Fernandes da Silva<sup>1</sup>*

*Não é possível entender o que se passa, sob o ponto de vista patológico, vendo e estudando os seus efeitos num antigo monumento ou numa cidade onde o uso de rochas ornamentais é relativamente recente. Fortaleza, cidade bem antiga que data de 1726, só nas últimas 3 ou 4 décadas começou a fazer uso de materiais pétreos como recobrimento de pisos ou fachadas de prédios, antes disso, só algumas soleiras e/ou passarelas de pouca monta se notam espalhadas aqui ou acolá na parte mais antiga da cidade. Em Fortaleza, podemos notar a existência da grande maioria das patologias conhecidas em velhos monumentos, mas, por causa especialmente do tempo decorrido desde a construção do edifício, da quantidade de material usado e igualmente por causa dos tipos litológicos usados, as suas conseqüências são bem menos drásticas. De um modo geral podemos incluir como causas dos problemas patológicos hoje encontrados, não só em Fortaleza, mas igualmente na maioria das cidades onde só recentemente se faz uso de tais materiais, a escolha errada do litótipo adequado para tal finalidade, o mau uso das placas rochosas e, especialmente condições erradas de assentamento dos materiais. Comparando as nossas observações com outras já descritas e publicadas em outros locais, verificamos que o “tipo de instalação” não é o principal problema que afeta os pisos e fachadas de Fortaleza, mas sim “o modo como o assentamento foi feito (falta de mão de obra qualificada e não observância das técnicas corretas de assentamento). Um segundo fator que afeta de modo evidente a formação das patologias é o modo como os responsáveis pela limpeza e manutenção dos pisos e fachadas agem posteriormente à entrega do edifício ou até mesmo durante a sua limpeza final. (o uso de detergentes, esponjas metálicas e ácidos variados são os maiores vilões).*

---

<sup>1</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, torquato@secrel.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará

## **Estudo para o aproveitamento de rejeito de quartzito da região do Seridó no estado da Paraíba**

*Francisco Wilson Hollanda Vidal<sup>1</sup>; Marcelo Corrêa de Andrade<sup>2</sup>;  
João Bosco Marinho da Costa<sup>2</sup>.*

*As principais áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba estão na Província Borborema, mais precisamente nos municípios de Junco do Seridó e Várzea, cujos depósitos se estendem até os municípios de Parelhas e Ouro Branco no Rio Grande do Norte. Nessas áreas observa-se uma intensa atividade de extração e beneficiamento do quartzito. Durante o processo de extração das placas na frente de lavra, bem como o de produção das pedras serradas, produz-se um passivo ambiental. Os rejeitos como é muito comum, erroneamente, são depositados ao redor da frente de lavra e nos terrenos próximos aos das serrarias, formando grandes pilhas de rejeito. Este trabalho pretende aproveitar os rejeitos de quartzito como matéria prima para a produção de argamassa colante, principalmente o rejeito fino de serraria. Neste trabalho foram realizados ensaios preliminares de formulação de argamassa colante do tipo ACI, ACII e ACIII. Para definir os melhores parâmetros de mistura, variou-se a dosagem da carga (areia de quartzito abaixo de 42 malhas), cimento (CPII Z 32) e retentor de água (Mercelose Samsung). A primeira etapa dos ensaios foi à formulação da argamassa do Tipo ACI, que é utilizada para o assentamento de pastilhas, cerâmicas e azulejos em partes internas das edificações. A segunda etapa dos ensaios foi à formulação da argamassa do Tipo ACII, utilizada para assentamento de porcelanato, mármore, vidro, ardósia e cerâmica em ambiente de muita pavimentação. A terceira etapa foi a formulação da argamassa do Tipo ACIII, utilizada para colar piso sobre piso, ardósia, cerâmica, mármore, granito e vidro em ambientes externos nas edificações. O melhor resultado para a formulação da argamassa do Tipo ACI foi de 80% de carga, 20% de cimento, 0,16% de Retentor de água e um tempo de mistura de 20 min. Para a formulação da argamassa do Tipo ACII e ACIII, em todas as combinações foram obtidos excelentes resultados.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT fhollanda@cetem.gov.br

<sup>2</sup> Tecquímica - PB



## APL calcário Cariri e Geopark Araripe

*Francisco Wilson Hollanda Vidal<sup>1</sup>; João Aquino Limaverde<sup>2</sup>*

*A Bacia Sedimentar do Araripe é uma seqüência predominantemente mesozóica, localizada no extremo sul do Estado do Ceará, compreendendo ainda porções dos Estados de Pernambuco e Piauí, possuindo uma área próxima de 10.000km<sup>2</sup>. É regionalmente inserida no conjunto geotectônico informalmente referido como “bacias interiores do Nordeste”. A origem da Bacia do Araripe está diretamente ligada ao evento da abertura do Oceano Atlântico Sul que envolveu toda a porção leste da Plataforma Sul-Americana, responsável pela fragmentação do paleocontinente Gondwana e pela formação de estruturas de bacias tectônicas, margeadas por falhas de gravidade. A coluna estratigráfica da Bacia do Araripe é formada por quatro seqüências tectono-sedimentares limitadas por discordâncias regionais ou por hiatos, paleontologicamente definidos. Os aspectos geomorfológicos da área estão diretamente relacionados às unidades estratigráficas, que refletem de maneira peculiar as suas diferentes características geomórficas. Na área da Bacia Sedimentar do Araripe, há 110 milhões de anos (Período geológico do Cretáceo Inferior), desenvolveram-se lagos amplos que evoluíram para uma laguna com influências de um mar interior. Os fósseis da Formação Santana exibem uma rica fauna e flora desses antigos ambientes, com elementos aquáticos e terrestres excepcionalmente bem preservados. Partes da história evolutiva de nosso planeta se revelam nos fósseis desse sítio, que representa um dos mais importantes depósitos fossilíferos do mundo. A UNESCO, em 2006, reconheceu como Geopark Nacional do Araripe uma vasta área de 5.000km<sup>2</sup> compreendendo 6 municípios, onde Nova Olinda e Santana do Cariri se constituem o núcleo mais importante, exatamente em função dos afloramentos causados pela exploração da Pedra Cariri. Uma das unidades geológicas mais importantes da Bacia é formada por calcários laminados calcíticos, ricos em fósseis, que são explorados como pedra ornamental e de cantaria, com o nome comercial de Pedra Cariri. O APL Calcários do Cariri foi montado e desenvolvido com foco nas explorações que vêm acontecendo desses calcários desde os primórdios do século passado, intensificando-se a partir da segunda metade da década de 70. De uma exploração puramente rudimentar, os esforços do APL transformaram a região, inserindo na cultura dos pequenos produtores da Pedra Cariri os conceitos de sustentabilidade, preservação e conservação. De um ambiente totalmente informal, o APL transformou a área em exploração legalizada, obedecendo as regras do meio ambiente, do código de mineração e introduziu técnicas de lavra tecnologicamente muito mais avançadas. Boas práticas de gestão e associativismo também foram implantados.*

---

1 Centro de Tecnologia Mineral - CETEMMCT: fhollanda@cetem.gov.br

2 Mineração Casa de Pedra – CE

## **Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais para confecção de blocos paisagísticos**

*Leonardo Cattabriga Freire<sup>1</sup>; Joedy Patrícia Cruz Queiroz<sup>1</sup>*

*Este trabalho objetiva avaliar a viabilidade técnica da utilização dos rejeitos finos gerados no corte das rochas ornamentais (lama) e seu aproveitamento para utilização como insumo na construção de blocos paisagísticos de contenção de encostas, obtendo um baixo custo de produção e reduzindo assim o grande impacto ambiental causado pela disposição incorreta dos resíduos produzidos. Pretende-se, ainda, a aplicação dos mesmos em áreas degradadas com baixo grau de declividade que são decorrentes da erosão e da atividade humana, estabilizando assim os taludes e minimizando futuros deslizamentos. Para tanto, foram utilizados resíduos de granulometria fina, com aproximadamente 70% de materiais com dimensões inferiores a 0,075 mm, misturados com cimento e areia. Os processos de desdobramento e beneficiamento geram uma quantidade substancial de resíduos na forma de lama. A estimativa para Cachoeiro de Itapemirim (ES) é da ordem de 400 t/mês de resíduos na forma de lama. Em geral, a lama abrasiva é constituída de pó de rochas, que corresponde à cerca de 20 a 25% do bloco beneficiado, além de granalha, cal e água. A viabilidade para utilização da adição de entre 10 % e 25% de resíduos (lama abrasiva) na construção dos blocos foi verificada por meio de uma propriedade mecânica (resistência á compressão axial) e um parâmetro de durabilidade (absorção por imersão). Para caracterizar o resíduo foram realizados ensaios de difração de raios-X, classificação granulométrica, MEV (microscopia eletrônica de varredura) e umidade higroscópica. Na comparação entre a adição de 10 % e 25% de resíduo do corte de granito, foi constatado que a adição de 10% de resíduo de corte de granito produziu uma barreira física melhor à absorção de água, proporcionando uma diminuição da porosidade. Com relação à resistência a compressão axial, com 10% de adição de resíduo obteve-se um maior ganho médio de resistência do que com as argamassas com 25% de adição de resíduo. Portanto, a partir dos resultados obtidos neste estudo, o uso do resíduo de corte de granito pode ser viável tecnicamente, sendo que, nas propriedades mecânicas e parâmetros de durabilidade avaliados, o resíduo com 10% de adição apresenta-se com melhores características para ser usado.*

---

<sup>1</sup> CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim/CACI. e-mail: lfreire@cetem.gov.br

## **Utilização do rejeito do granito *rain forest* no processamento de revestimentos cerâmicos**

*Daniel Henrique Pires Cabral<sup>1</sup>; Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira<sup>1</sup>;  
José Marcos Sasaki<sup>1</sup>; Francisco Heury Fernandes da Silva<sup>2</sup>*

*O setor de construção civil tem impulsionado uma demanda na extração de rochas naturais para fins ornamentais e de revestimento, como mármore e o granito. Por outro lado esta atividade tem ocasionado problemas ambientais relacionada com rejeito proveniente das fases de beneficiamento destes materiais pétreos. A extração gera consequentemente uma grande quantidade de resíduos, onde não há uma destinação final específica. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as influências da temperatura e pressão de conformação, no processamento do rejeito do granito comercial Rain Forest, extraído da Serra da Meruoca-CE, onde é utilizado como matéria-prima no processamento de revestimentos cerâmicos. O resíduo da extração do granito, independente das dimensões dos blocos, será submetido ao processo de trituração, moagem a úmido, secagem e peneiramento. A fluorescência de raios X irá ser realizada em uma fração deste pó de rocha. Por fim, utilizar-se-á da compactação por pressão uniaxial em pressão de 50 MPa, por ação única de um pistão superior, utilizando uma matriz de aço de seção 116 x 25 x 12 mm. Em seguida, os corpos serão sinterizados a temperaturas de 1155°, 1165°, 1175°, 1185° e 1195 °C. Depois de prontos, os corpos de prova serão avaliados através de análise de absorção de água, contração linear e microdureza, onde os resultados obtidos irão contribuir na reutilização destes materiais pétreos.*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – UFC, dandantas@gmail.com

<sup>2</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial/NUTEC

## APLs de rochas ornamentais: estudo de casos

Francisco Wilson Hollanda Vidal<sup>1</sup>, Carlos César Peiter<sup>1</sup>;  
Nuria Fernández Castro<sup>1</sup>

*Arranjos produtivos locais (APL) são definidos como aglomerações regionais de produção de determinados bens, nas quais se encontram os diversos segmentos da cadeia produtiva desses bens, sendo em grande parte formados por micro e pequenas empresas. Trata-se, atualmente, de um tópico de grande interesse da política de desenvolvimento econômico do governo federal. A adaptação deste conceito à mineração, no Brasil, levou a concepção do chamado “Arranjo Produtivo de Base Mineral”. Os APLs de Base Mineral são de grande importância para o desenvolvimento regional e a interiorização da população. Devido, principalmente à rigidez locacional dos depósitos minerais, muitos desses APLs encontram-se em regiões pobres e com falta de acesso a emprego, tecnologia e recursos. Assim, a política do governo federal vem sendo a de colaborar na solução dos gargalos que dificultam o desenvolvimento sustentável dessas aglomerações. Dentre os principais gargalos que bloqueiam o desenvolvimento da atividade mineral nestes arranjos, estão os de caráter tecnológico, que, de uma forma ou outra, acabam por determinar a competitividade dos produtos e a própria existência legal das empresas mineiras, por força de exigências da legislação ambiental. A presente contribuição apresenta as estratégias e formas de atuação que o CETEM vem utilizando com sucesso na transferência de tecnologia mineral e ambiental para os micro e pequenos produtores nos arranjos de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua (RJ), Mármore Bege de Ouroândia (BA) e Quartzitos do Seridó (PB). Em Santo Antônio de Pádua, trabalho muito premiado, foram desenvolvidos sistemas de tratamento de efluentes que permitiram a recirculação da água e o aproveitamento dos finos gerados no corte das rochas. Como consequência, houve de se buscar um aproveitamento desses finos que culminou na instalação de uma fábrica de argamassa na região. No caso do Mármore Bege-Bahia, a metodologia de extração foi grandemente melhorada e aplicações industriais para os resíduos estão sendo estudadas. Por último, para os Quartzitos do Seridó, além da tecnologia de lavra, estão sendo desenvolvidos equipamentos específicos para a obtenção de novos produtos de maior qualidade e valor agregado. Demonstra-se que o sucesso dos trabalhos tem sido favorecido pela transferência de tecnologias simplificadas e adaptadas às condições e necessidades dos arranjos, que, conseqüentemente, contribuirão para o desenvolvimento de inovações de produtos e processos. Areladas a estas ações, tem-se também as linhas de pesquisas aplicadas para o aproveitamento de resíduos provenientes de lavra e do beneficiamento desses materiais pétreos, objetivando o uso e aplicação industrial, em vários segmentos (argamassa, cerâmica, borracha, vidros, etc.).*

---

1 Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT (fhollanda@cetem.gov.br)

## **Recuperação dos resíduos oriundos do corte de mármore para uso como carga e recobrimento de papel**

*Beatriz Martins Morani<sup>1</sup>; Roberto Carlos C. Ribeiro<sup>1</sup>  
e Adriano Caranassios<sup>1</sup>*

*A ascensão nos últimos anos do setor de rochas ornamentais tem impulsionado cada vez mais o processo de extração e beneficiamento dessas rochas e conseqüentemente gerado resíduos sem valor econômico que acabam sendo descartados em locais inadequados, como rios e córregos, causando um grave impacto ambiental. Por essa razão, tem havido uma crescente preocupação nesse sentido já que a tendência é atingir dimensões intoleráveis para a população, caso não recebam um destino apropriado e não sejam desenvolvidas formas e métodos para seu efetivo aproveitamento. Baseado nisto, o presente trabalho compreende um estudo realizado em um resíduo oriundo do corte de mármore da Cidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES e envolve a purificação do material por meio de flotação inversa dos silicatos, com fins de utilização na indústria do papel. Os resultados indicaram ser possível a redução dos percentuais de ferro e sílica no material a índices inferiores a 0,8 e 0,5%, respectivamente, com recuperação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio de 95%, com elevada alvura, em torno de 92%. Com isso, pôde-se concluir que o resíduo oriundo do corte de mármore, após sofrer um processo de purificação, enquadrou-se nas exigências da indústria do papel, podendo ser utilizado como carga e ou recobrimento.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCT; rcarlos@cetem.gov.br

## **Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na fabricação de tintas imobiliárias**

*Ryara Ghiotto<sup>1</sup>; Roberto Carlos Ribeiro<sup>1</sup> e Joedy Patrícia Queiróz<sup>1</sup>*

*Com o visível crescimento do setor de Rochas Ornamentais, e o aumento da utilização deste tipo de material para revestimento na construção civil, se fez necessário um estudo sobre a reutilização dos resíduos gerados no desdobramento das rochas. Estes resíduos constituem um transtorno para as empresas do setor, visto que são geradores de um passivo ambiental. Após a lavra, os blocos serão desdobrados e transformados em chapas polidas, sendo esse processo denominado beneficiamento. Desse processo, temos a formação da lama abrasiva, que provoca graves danos ao meio ambiente, por conter na sua composição granalha, cal virgem, o próprio pó de rocha e a água. A lama abrasiva, quando lançada ou empregada diretamente na natureza ou depositada no solo, acaba por contaminá-lo e posteriormente, seus componentes atingem os lençóis freáticos. Baseado nisto, o principal objetivo desse trabalho é a utilização de resíduos oriundos do corte de mármore como carga na produção de tintas imobiliárias. Para tal, coletou-se um resíduo oriundo do corte de mármore de uma Serraria da cidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES, que sofreu um processo de beneficiamento, por meio de desagregação e peneiramento. Posteriormente, o material passante em 0,037 mm foi caracterizado química e mineralogicamente, sendo utilizado como carga na produção de tintas. Para geração da tinta, adicionou-se 1 L de óleo de linhaça fervido com a carga e o pigmento. Misturou-se primeiro uma pasta espessa, e depois acrescentou-se óleo de linhaça até que a tinta parecesse adequada para ser aplicada e cobrir. O produto obtido foi avaliado quanto ao recobrimento e também em câmaras de alterabilidade, verificando-se seu comportamento frente à ação de névoa salina, raios ultravioletas, umidade e ataque de SO<sub>2</sub>. Resultados preliminares indicaram a potencialidade de utilização desse resíduo como carga na produção de tintas, uma vez que a mesma se enquadrava às normas requeridas para tintas.*

---

<sup>1</sup> Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCT; rcarlos@cetem.gov.br

## Mapeamento das rochas ornamentais da fachada do teatro municipal do Rio de Janeiro

*Joedy Patrícia Queiroz<sup>1</sup>; Roberto Carlos Ribeiro<sup>1</sup>  
e Beatriz Morani<sup>1</sup>*

*O Rio de Janeiro contém importantes monumentos históricos produzidos em rocha ornamental, a sua maioria em estado avançado de deterioração. O Teatro Municipal um representante destes monumentos que em 2009 completará 100 anos, para esta importante data está sendo realizada uma grande reforma que incluirá a restauração das rochas da fachada. Este trabalho tentará dar um melhor emprego das técnicas de restauração a partir do mapeamento das rochas que compõem a fachada do prédio. Para chegar a este objetivo o trabalho identificará os fenômenos do intemperismo atuantes nestas rochas ornamentais, através do levantamento de todos os tipos de processos intempéricos, incluindo também aqueles que podem ser catalisados por processos naturais, ambientes urbanos poluídos e utilização inadequada destas rochas. A metodologia utilizada neste mapeamento compreenderá a classificação petrográfica das rochas e os ensaios tecnológicos de alterabilidade. No momento o trabalho se encontra na catalogação das rochas que serão estudadas e preparação dos corpos de prova para os ensaios. Por fim, este trabalho de grande importância, pois com o conhecimento da extensão e distribuição do intemperismo pode-se identificar e compreender melhor os seus processos e os fatores controladores auxiliando o trabalho de restauração.*

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCT; jqueiroz@cetem.gov.br

## **Análise e monitoramento de riscos nas etapas de beneficiamento de rochas ornamentais**

*Francineli Rodrigues Paiva<sup>1</sup>; Kênia Cristina da Cruz<sup>1</sup>;  
Leonardo Luiz Lyrio da Silveira<sup>2</sup>*

*O presente trabalho objetivou realizar o gerenciamento de riscos de uma linha de produção em uma indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, através da antecipação, reconhecimento, mapeamento e proposição de medidas de controle e gerenciamento. Na abordagem da prevenção de riscos profissionais há uma responsabilidade intransferível dos empregadores de garantirem a segurança e a saúde dos trabalhadores em todos os aspectos relacionados com o trabalho. Esta responsabilidade pressupõe que a prevenção deve ser gerida nos próprios locais de trabalho, em função de todos os riscos declarados e sobre todos os intervenientes, privilegiando as medidas que conduzam à eliminação dos riscos. No sentido de alcançar os objetivos propostos nessa pesquisa, foi definida uma empresa, localizada no município de Ecoporanga, Estado do Espírito Santo, para se realizar o acompanhamento dos hábitos laborais, bem como fazer uma enquete com funcionários e empresário, na forma de questionário, com vista a desenvolver um banco de dados que serviria de base para um diagnóstico completo dos vários tipos de riscos presente na empresa. Dentre os produtos finais oriundos desta pesquisa ressaltam-se os mapas de riscos, a saber: Risco Físico, Risco Químico, Risco Biológico, Risco Ergonômico e Risco de Acidentes. Estes documentos permitiram concluir que a empresa mostrou-se preparada para atender as sugestões propostas, no entanto, existem atividades realizadas em dois turnos, sendo o turno noturno prejudicado pela iluminação precária. As atividades são feitas com cautela e atenção de cada funcionário dos setores indicado. Esta empresa está em funcionamento há oito anos e não existem acidentes graves registrados, apenas pequenas ocorrências. Os mapas de riscos permitiram orientar os gestores na prevenção de acidentes a partir da identificação dos locais mais susceptíveis a geração de danos ao trabalhador.*

---

<sup>1</sup> União de Ensino São Francisco - UNESF – paivafr@hotmail.com

<sup>2</sup> Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM-MCT



## **Caracterização tecnológica de ardósias para telhas segundo normas européias – exemplo das ardósias cinza de Papagaios, MG**

*Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá<sup>1</sup>;  
Fabiano Cabañas Navarro<sup>2</sup>; Eduardo Brandau Quitete<sup>3</sup>*

*Ardósias são rochas metassedimentares, ou seja, rochas pelíticas submetidas a metamorfismo de baixo grau, que tem a fissilidade, entendida como a capacidade de se destacar em finas placas, como principal característica. São utilizadas no revestimento de pisos, paredes e de telhados, em países de clima frio, em virtude alta resistência à flexão, que as permite suportar grandes cargas sem se romper. Nos últimos anos, o Brasil se destacou como o 2º maior exportador de ardósias, tendo como principais compradores os países europeus. Atualmente, de acordo com a legislação vigente na Comunidade Européia, produtos destinados à construção civil, entre outros, devem ter suas características determinadas em conformidade com as normas da CEN (Comissão Européia de Normalização). Este trabalho enfoca os procedimentos de ensaio adotados para a caracterização tecnológica de ardósias cinza da região de Papagaios (MG), segundo a norma EN 12326-2:2000 + A1:2004 (Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding – Part 2: Methods of test); e sintetiza os resultados obtidos, que classificaram este material como ardósia para telhas, quando comparados com normativa em vigor (EN 12326-1:2004 (Slates and stone products for discontinuous roofing and cladding – Part 1: Product specification)).*

---

<sup>1,2,3</sup> IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - mheloisa@ipt.br

## **Arranjo produtivo local de pedra-sabão na região de Ouro Preto - MG**

*Rita de Cássia Pedrosa Santos<sup>1</sup>, Evandro Carrusca<sup>2</sup>; João Maurício de Andrade Goulart<sup>3</sup>*

*A rocha ornamental esteatito, comercialmente conhecido como pedra sabão, merece muita atenção principalmente na região de Minas Gerais – constituindo um fator de desenvolvimento regional que agrega valor aos produtos gerando emprego e renda. A pedra-sabão tem várias formas de ser trabalhada, dependendo de cada região, das características locais e fundamentalmente da qualidade da pedra que é encontrada. A arte está presente nas mãos de moradores da região que transformam um "bloco de pedra" em uma escultura que chega a vários países. A mineração mantém uma relação difícil com o meio ambiente local. Para se lavar, transportar, beneficiar e comercializar os minerais, é preciso influenciar o meio ambiente, às vezes de forma irreversível, produzindo-se impacto e geração de resíduos que constituem um problema sério de disposição além de afetar o meio ambiente. Entretanto, são atividades compatíveis com o desenvolvimento social e ambiental sustentável, pois apresentam um benefício sócio-econômico evidente. O aproveitamento dos recursos minerais deve estar comprometido com os requisitos do conceito de desenvolvimento sustentável (satisfazer as necessidades do presente sem prejudicar as futuras gerações). Isto implica, entre outros fatores, no aproveitamento racional dos recursos naturais em harmonia com o meio ambiente. O presente estudo trata da análise dos entraves para a criação de um Arranjo Produtivo Local (APL) de base mineral para a pedra-sabão na região de Ouro Preto. A estruturação de ações na formação de um APL visa promover a competitividade e a sustentabilidade dos micro e pequenos negócios, estimulando processos locais de desenvolvimento por meio de um padrão de organização que se mantenha ao longo do tempo, a promoção de um ambiente de inclusão social e cooperação entre os atores do território. Neste trabalho são apresentadas as perdas de matéria prima, comprometimento com o meio ambiente e também algumas medidas possíveis de serem adotadas para melhorar as condições de produção, saúde, proteção ambiental e principalmente, da permanência da atividade como geração de emprego e renda além de ser uma atração turística para a região.*

---

<sup>1,2</sup> Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais ; ritapedrosa@gmail.com

<sup>3</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

## **Aproveitamento de resíduos produzidos no corte de rochas ornamentais na indústria de construção civil**

*I. F. Pontes,<sup>1</sup> F. W. H. Vidal,<sup>1</sup> R.C.M.Castelões<sup>1</sup>, S.L.M.Almeida<sup>1</sup>*

*O presente trabalho mostra rotas tecnológicas de pesquisa desenvolvidas em laboratório e Usina Piloto, utilizando amostra de resíduos produzidos nos teares de serrarias, e gerados durante o processo de corte de blocos de mármore e granitos provenientes da pedreira. As amostras foram coletadas na área industrial de uma barragem de rejeitos da empresa, situada no município de Cachoeiro de Itapemirim/Espírito Santo. O principal objetivo foi estudar a viabilidade técnica de remoção do Fe contido no resíduo, a partir da remoção da granalha principal impureza contida no resíduo da serraria, possibilitando o seu aproveitamento na indústria de construção civil. Foi estudado o aproveitamento dessa matéria prima nas indústrias de cerâmica para pisos, e num segundo estudo, o seu aproveitamento nas indústrias de cerâmica vermelha, visando à produção de telhas, lajotas, tijolos etc. O estudo foi desenvolvido nas instalações do CETEM, e consistiu de pesquisa exaustiva de purificação da amostra, objetivando a remoção do Fe. Inicialmente, o resíduo foi submetido a uma classificação (150 malhas), obtendo-se um produto grosseiro com 4,6 % de Fe, e obteve-se um produto fino passante < 150 malhas com teor de 3,2% de Fe. A perda nesse descarte foi de apenas 12% em massa. Na purificação da amostra foram realizados estudos de separação magnética de alta intensidade, usando o separador Boxmag Rapid e separador contínuo da Eriez Magnetics, em ambos os casos, os resultados foram considerados promissores, obtendo-se reduções significativas do teor de Fe. Foram realizados ensaios visando à remoção do Fe, através da utilização de hidrociclone, obtendo-se bons resultados, com redução do teor de Fe de até 28,57%. Esta rota tecnológica precisa ser otimizada, por ser menos onerosa e tecnicamente viável, em face dos baixos custos de investimento e operacional. Os estudos realizados em diferentes aplicações na Construção Civil, indicaram resultados promissores para utilização do resíduo na cerâmica nobre e cerâmica vermelha, blocos estruturais e pisos para pavimentação, argamassas etc.*

---

1 Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT (ifalcao@cetem.gov.br)

## As geotecnologias na pesquisa de rochas ornamentais

*Roberto Mota<sup>1</sup>; Ariston Araújo Cajaty<sup>1</sup>; Antonio Harildes Oliveira Martins<sup>1</sup>*

*Este trabalho objetiva propiciar uma oportunidade para que a comunidade geológica e a dos empresários do setor de rochas ornamentais discutirem as técnicas e instrumentações disponíveis para o aproveitamento desses bens minerais. As rochas ornamentais, de um modo geral, são classificadas comercialmente, em dois grandes grupos: grupo dos “mármore” e dos “granitos”. Termos em que, petrograficamente, nem sempre correspondem, à nomenclatura convencional, mas que a indústria da construção civil já os consagrou. Nas transações comerciais, os termos “mármore” e “granito” são, definidos de um forma genérica: como “mármore” classificam-se todas as rochas calcárias, com dureza suficiente para ser cortada e polida com a qualidade que o mercado exige. Como granito: qualquer rocha que não se enquadre na “definição” de mármore ou outras como as sedimentares. Excluindo os mármore e granitos, existem outros materiais que funcionam como sucedâneos das rochas ornamentais, muitas vezes com preço bastante inferiores. Os diversos tipos litológicos têm sua ocorrência balizada por condições geotectônicas reinantes durante os eventos geológicos geradores. A característica principal para definição de uma rocha como ornamental, deve se considerar aspectos da rocha e do jazimento, como: tenacidade, resistência mecânica, grau de polimento, a forma e dimensão dos blocos lavrados, viabilidade de lavra, e não somente os aspectos estéticos. Além disso, todo material rochoso empregado no setor da construção, como pedra ornamental deve possuir certas características técnicas normalizadas que determinam sua aplicação. Tais características são índices definidos, em laboratórios, através de ensaios específicos que quando estudados orientam o uso principal da rocha. Além de todas condicionantes geológicas positivas, os fatores de interferência negativa para a qualificação dos materiais também são cuidadosamente avaliados, antes de se atribuir condição de área favorável à exploração. O empresariado brasileiro do setor vem investindo na aquisição de novos e modernos equipamentos de lavra, desdobramento e beneficiamento final. A academia aos poucos vem buscando dar sua contribuição oferecendo sua inteligência disponibilizando ao setor geotecnologias que surgiram recentes. O setor necessita de projetos de pesquisa e aproveitamento que tenha como foco não só apenas as questões geotecnológicas, econômicas mas que também considere de forma definitiva as questões ambientais, diferencial que o mercado moderno mais distingue.*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – UFC; harildesmartins@hotmail.com

## **Aproveitamento de resíduo da serragem de rocha de Cachoeiro de Itapemirim-ES em massa de cerâmica vermelha**

*Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>1</sup>; Mônica Castoldi Borlini<sup>2</sup>;  
Abiliane de Andrade Pazeto<sup>3</sup>; José Roberto de Oliveira<sup>4</sup>; Sergio Neves Monteiro<sup>1</sup>*

*O desenvolvimento do setor de rochas ornamentais no Espírito Santo está acompanhado de uma grande geração de resíduos provenientes da serragem e polimento das rochas ornamentais. Nas serrarias, cerca de 25 a 30% das rochas são transformadas em resíduos, na forma de lama. A disposição inadequada desses resíduos pode causar grande impacto ambiental. A lama é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída. Esses resíduos, sem nenhum tratamento para eliminação ou redução dos constituintes presentes, acumulam-se nos pátios das empresas, reservatórios ou aterros, podendo causar a contaminação dos rios, do lençol freático, do solo e do ar. À medida que o resíduo perde umidade, o pó resultante se espalha, podendo também gerar sérios problemas à saúde humana. Além disso, a disposição inadequada pode também afetar o setor produtivo, pois a legislação está cada vez mais rigorosa quanto ao licenciamento ambiental das empresas. Uma alternativa tecnológica para reduzir o impacto ambiental causado pela disposição indiscriminada de resíduos é a sua incorporação em produtos cerâmicos argilosos. O granito possui como componentes principais o feldspato, quartzo e mica. Os feldspatos possuem elevado potencial de atuação fundente. Assim sendo, os resíduos correspondentes podem atuar como fundentes durante o processo de sinterização da cerâmica. Os resíduos de rochas são materiais não plásticos e, portanto, podem representar um papel importante como controladores da plasticidade durante fabricação da cerâmica. Este trabalho tem por objetivo incorporar resíduo da serragem do granito, conhecido comercialmente como Iberê Crema Bourdeaux, submetido a um processo de separação magnética para a retirada de granalha, em massa de cerâmica vermelha. Foram realizadas incorporações de resíduo de granito na massa cerâmica nas seguintes proporções: 0, 10, 20 e 30% em peso. Nas composições elaboradas foram realizados ensaios de plasticidade e preparados corpos-de-prova por prensagem uniaxial a 20 MPa para queima a 900°C. Em seguida, foram realizados ensaios de absorção de água, retração linear e tensão de ruptura à flexão a três pontos. Os resultados mostraram uma melhoria dos valores de absorção de água das cerâmicas com resíduo. A retração linear diminuiu com a incorporação de resíduo na massa cerâmica. A resistência mecânica da cerâmica incorporada com 20% de resíduo é ligeiramente maior que a composição sem resíduo. Os resultados indicaram que o resíduo da serragem da rocha é um material com grande potencial para ser utilizado como componente de massa cerâmica, sobretudo, devido à sua contribuição na melhoria da trabalhabilidade e secagem da cerâmica vermelha.*

---

1 UENF/LAMAV – Universidade Estadual do Norte Fluminense / Laboratório de Materiais Avançados

2 Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT.  
mborlini@cetem.gov.br;

3 UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho

4 IFES – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

## Revestimento cerâmico obtido com a incorporação de resíduo de rocha ornamental em massa argilosa

Mônica Castoldi Borlini<sup>1</sup>; Abiliane de Andrade Pazeto<sup>2</sup>; José Roberto de Oliveira<sup>3</sup>;  
Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>4</sup>; Sergio Neves Monteiro<sup>4</sup>

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 8,0 milhões de toneladas no ano de 2007. Desse total, o Espírito Santo responde por quase 40% da produção e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos. O município de Cachoeiro de Itapemirim é conhecido pelo seu parque industrial de beneficiamento de rochas ornamentais, sendo 70% das rochas beneficiadas em empresas cachoeirenses. Devido a esse volume de produção, Cachoeiro enfrenta um problema ambiental, no que diz respeito à geração de resíduos industriais e sua destinação final. A lama abrasiva, resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais, é geralmente constituída de água, cal, granalha e rocha moída. A granalha é um insumo composto de ferro ou aço, cujo conteúdo residual pode prejudicar as propriedades do produto, dependendo de sua aplicação. O material Iberê Crema Bordeaux é classificado petrograficamente como um metagranito porfirítico, possui em sua composição expressivas quantidades de feldspatos. Uma das alternativas tecnológicas para o seu aproveitamento é em cerâmica argilosa. Os feldspatos possuem elevado potencial de atuação fundente. Os fundentes proporcionam à massa cerâmica maior formação de fase líquida, que podem preencher os seus poros, densificando-a e conferindo maior resistência mecânica ao produto final. Assim sendo, o objetivo desse trabalho é a incorporação do resíduo da serragem da rocha, conhecida comercialmente como "Iberê Crema Bourdeaux", em cerâmica argilosa. As matérias-primas utilizadas nesse estudo foram o resíduo do Iberê Crema Bordeaux e uma massa cerâmica argilosa empregada na fabricação de tijolos para construção civil. O resíduo é proveniente da região de Cachoeiro e a massa argilosa da região de Campos dos Goytacazes, RJ. Esse resíduo foi coletado diretamente do poço do tear, na forma de lama, durante o estágio de serragem. O resíduo, semi-seco, passou por um processo de tratamento, por meio da separação magnética, para a separação da granalha. Foram preparadas composições com incorporações de 0, 10, 20 e 30% em peso de resíduo na massa cerâmica. Os corpos de prova foram prensados a 9 toneladas, queimados a 1175°C com taxa de aquecimento de 10°C/min e isoterma de 10 minutos. Em geral, a retração linear diminuiu com a incorporação de resíduo na massa cerâmica. Observou-se uma ligeira melhoria na absorção de água para a cerâmica com 10% de resíduo. A cerâmica incorporada com 20% de resíduo apresentou absorção de água de 8,9%. Houve um acréscimo da resistência mecânica para a composição com 20% de resíduo, quando comparado à massa cerâmica e demais composições estudadas. Segundo os resultados de absorção de água e resistência a ruptura desse material com 20% de resíduo, este pode ser classificado como revestimento cerâmico semi-poroso, de acordo com a NBR 13818. Como conclusão, tem-se que a incorporação em cerâmica é uma alternativa tecnológica para a utilização do resíduo de rocha ornamental, e os problemas causados pela sua disposição indiscriminada.

---

1 Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT.  
mborlini@cetem.gov.br

2 UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho

3 IFES - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

4 ENF/LAMAV - Universidade Estadual do Norte Fluminense/Laboratório de Materiais Avançados

## Resíduo de serragem de granito sem granalha: caracterização

*Izabel Sandrini<sup>1</sup>; Mariane Costalonga de Aguiar<sup>1</sup>; José Roberto de Oliveira<sup>2</sup>; Antônio Rodrigues de Campos<sup>1</sup>, Abiliane de Andrade Pazeto<sup>3</sup>. Mônica Castoldi Borlini<sup>1</sup>*

*O Espírito Santo é uma das referências em mármore e granito e líder absoluto na produção nacional de rochas. Devido à grande quantidade de resíduos gerados nos dias atuais, caracterizar esse material é de suma importância, para que no futuro haja a possibilidade de contribuir para o desenvolvimento sustentável, por meio da aplicação desta matéria-prima na fabricação de um novo produto. Na cidade de Cachoeiro de Itapemirim – Espírito Santo há uma grande atividade de beneficiamento industrial de rochas ornamentais, sendo que, são gerados ao ano, no Estado, mais de 150 mil metros cúbicos de resíduo do beneficiamento das indústrias de rochas. Devido à grande quantidade de empresas de mármore e granito na cidade, pode-se dizer que Cachoeiro enfrenta um problema ambiental, no que se refere aos resíduos. O resíduo utilizado no presente trabalho foi o Iberê Crema Bordeaux, que é bastante aceito no mercado e foi cedido pela empresa Pemagran Pedras Mármore e Granitos LTDA. O objetivo do trabalho foi a caracterização do resíduo de granito Iberê Crema Bordeaux, sem granalha. Contudo, para a separação da granalha do resíduo, foi realizado um tratamento por meio de separação magnética. A separação magnética foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES. Feita a separação da granalha, o resíduo foi seco em estufa a 70°C, quarteadado e caracterizado. Foi realizada análise de composição química, difração de raios-X, distribuição de tamanho de partícula, análise térmica TG/ATD e análise morfológica por meio de microscopia eletrônica de varredura – MEV do resíduo. O resíduo utilizado apresentou as fases cristalinas como: quartzo, microclina, albita, biotita e baixa porcentagem de ferro em sua composição. Também apresentou quantidades significativas de óxidos alcalinos e baixa perda ao fogo. Os resultados de caracterização do resíduo Iberê Crema Bordeaux após a separação magnética mostrou que esse resíduo pode ser utilizado como componente de massa cerâmica e assim, ser uma alternativa para a minimização do impacto ambiental em Cachoeiro de Itapemirim-ES.*

---

1 Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim, CACI, Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCT - isandrini@cetem.gov.br

2 IFES – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

3 UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho