

ANAIS

**IV CONGRESSO BRASILEIRO
DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**VIII SIMPÓSIO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS DO NORDESTE**

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL

ELBERT VALDIVIEZO VIERA

ANTÔNIO AUGUSTO PEREIRA SOUSA



CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

ANAIS DO IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS
VIII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA – BRASIL
06 A 09 DE NOVEMBRO DE 2012

CETEM/MCTI
RIO DE JANEIRO/2013

ANAIS DO IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

VIII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

ORGANIZADORES DOS ANAIS

ELBERT VALDIVIEZO VIERA
FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
ANTÔNIO AUGUSTO PEREIRA SOUSA

COMISSÃO TÉCNICA

Aarão de Andrade Lima – UFCG/PB
Adriana Almeida Cutrim – UFCG/PB
Antônio Pedro Ferreira Sousa – UFCG/PB
Belarmino Barbosa Lira – UFPB/PB
Carlos Adolpho Magalhães Baltar – UFPE/PE
Djane Fátima Oliveira – UEPB/PB
Edilane Laranjeira – UEPB/PB
Elzivir Azevedo Guerra – MME/BR
José Agnelo Soares – UFCG/PB
José Avelino Freire – UFCG/PB
José de Araújo Nogueira Neto – UFC/CE
Júlio César de Souza – UFPE/PE
Júlio César Guedes Correia – CETEM/MCTI
Lourival Cruz Diniz Filho – DNP/ RN
Núria Fernandes Castro – CETEM/MCTI
Risale Neves Almeida – UFPE/PE
Roberto Cerrini Villas-Bôas – CETEM/MCTI
Verônica Evangelista de Lima – UEPB/PB
Wandenberg Bismark Colaço Lima – IFPB/PB

ORGANIZAÇÃO DO EVENTO

Antônio Augusto Pereira Sousa • Elbert Valdiviezo Viera • Francisco Wilson Hollanda Vidal
Marcelo Sampaio Falcão • Marcos Farias Magalhães

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

VERA LÚCIA DO ESPÍRITO SANTO SOUZA
Projeto Gráfico/Editoração Eletrônica

Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais

(4: 2012: Campina Grande-PB) Simpósio de Rochas Ornamentais do
Nordeste/Francisco Wilson Hollanda Vidal, Elbert Valdiviezo Vieira, Antonio Augusto
Pereira Souza (Orgs). – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

350p.:il.

1. Rochas ornamentais. 2. Rochas e minerais industriais. I. Centro de Tecnologia
Mineral. II. Vidal, Francisco W. Hollanda (Org). III. Vieira, Elbert Valdiviezo (Org). IV. Souza,
Antônio Augusto Pereira (Org.)

ISBN 978-85-8261-002-2

CDD 553

APRESENTAÇÃO

A última edição do Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais (III CBRO) se realizou em Natal-RN no período de 15 a 18 de novembro de 2007. Nessa ocasião, o III CBRO se efetuou, em paralelo, com o VI SRONE. O último Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (VII SRONE) se efetuou em Fortaleza-CE, entre os dias 11 a 15 de novembro de 2009. Na oportunidade, o VII SRONE foi realizado, em simultâneo, com o XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste.

A realização do III CBRO e do VII SRONE completou mais de uma década de trabalho, e já ocupa uma posição de destaque no cenário nacional como evento técnico-científico, no âmbito de PDI em áreas correlatas ao segmento de granitos, mármore, e rochas para usos ornamentais e de revestimento. No atual momento, o setor de rochas ornamentais do País passa por um de seus melhores períodos de sua história, ultrapassando notoriamente muitas das expectativas.

Notoriamente, observa-se uma evolução qualitativa e quantitativa dos trabalhos técnicos científicos que têm sido apresentados nos últimos eventos, desde a realização do I SRONE, em 1998. Essa tendência demonstra, não apenas um crescimento constante, senão também o amadurecimento e consolidação definitiva nas áreas de Ciência e Tecnologia relacionadas ao setor de rochas ornamentais. A título de destaque, pode mencionar-se a formação da Rede de Pesquisa RETEQ-ROCHAS, criada em 1999, entidade que vem se consolidando na realização de diversos estudos e publicações científicos.

Por outro lado, as áreas temáticas vêm se ampliando gradativamente e se diversificando, o que pode ser constatado através dos Congressos nacionais realizados, bem como das feiras especializadas, em todos os segmentos do setor de rochas ornamentais e de revestimento, envolvendo as áreas tradicionais como pesquisa mineral, lavra e beneficiamento, mecânica de rochas, impactos ambientais, recuperação de áreas degradadas, e entrando novas áreas temáticas, como aproveitamento de resíduos, desenvolvimento sustentável, aplicações e usos na arquitetura e na construção civil, entre outras.

Nesta ocasião, ambos os eventos, o IV CBRO e o VIII SRONE foram realizados, simultaneamente, de 06 a 09 de novembro de 2012, nas instalações da Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP), na cidade de Campina Grande-PB. O convite para organização do evento foi formulado pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI), último organizador, para a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A UFCG por sua vez, estendeu o convite para a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), para o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), para a Secretaria de Estado do Turismo e do Desenvolvimento Econômico (SETDE/PB), e para o CETEM/MCTI, para compor a Comissão de Organização do CBRO.

Os nossos sinceros agradecimentos para as Instituições organizadoras do evento e aos seus representantes como o Prof. Antônio Augusto Pereira Sousa - UEPB, Marcos Farias Magalhães - SEBRAE, Marcelo Sampaio Falcão - Governo do Estado da Paraíba - SETDE/PB, e ao Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal - CETEM/MCTI. Agradecemos também às instituições que outorgaram apoio ao evento como o Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), o Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) representado pelo Prof. Wandenberg Bismark Colaço Lima, o sistema da Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP), o SENAI/PB representado pela Diretora Regional Sra. Maria Gricélia Pinheiro de Melo, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) representado pelo seu Presidente Sr. Reinaldo Sampaio, e a todas as demais empresas, órgãos e instituições públicas que

nos concederam algum tipo de apoio e/ou patrocínio para a realização do Congresso.

Gostaria também de registrar os nossos agradecimentos ao Sr. Allysson da Veiga Cavalcante e a Srta. Lidiane Vasconcelos, da Realize Eventos Científicos & Editora, pelo valioso suporte de informatização, de web design, digital e logístico outorgado para a realização do Congresso.

Agradecemos aos alunos do Curso de Graduação em Engenharia de Minas da UFCG, aos alunos do Curso de Química Industrial da UEPB, e aos alunos do Curso Técnico em Mineração do IFPB, pelo apoio fornecido no desenvolvimento de tarefas orientadas para a realização do CBRO.

Campina Grande, novembro de 2012.

Elbert Valdiviezo Viera
Coordenador Geral do IV CBRO e VIII SRONE

CARACTERIZAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA LAVRA DE QUARTZITOS DA REGIÃO DO SERIDÓ VISANDO A PRODUÇÃO DE CERÂMICA PARA PORCELANATO

Elbert Valdiviezo Viera¹; Marcondes Mendes de Souza², Lígia Mara Gonzaga¹

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – Universidade Federal de Campina Grande
Av. Aprígio Veloso, 882 – Cidade Universitária, CEP 58109-900, Campina Grande – PB.
E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

²Gerência de Recursos Naturais – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Av. Senador Salgado Filho, 1559 – Tirol – Natal-RN

RESUMO

A indústria cerâmica se destaca pelo seu potencial em coprocessar resíduos em razão de possuir elevado volume de produção, e também pelo fato de que alguns resíduos, aliados às características físico-químicas da matéria-prima e às particularidades do processo produtivo, poderão possibilitar vantagens à indústria e ao processo, tais como, economia e diversificação da oferta de matéria-prima, redução do consumo de energia e, conseqüentemente, redução de custos na sua produção. O termo massa cerâmica consiste em uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico. Uma massa cerâmica deve possuir as características necessárias para possibilitar um aperfeiçoamento durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais requeridas. Na fabricação de peças cerâmicas é bastante comum a mistura de dois ou mais materiais para a composição da massa. Muitos métodos são utilizados para se desenvolver formulações de massas cerâmicas. A maioria desses métodos utiliza técnicas empíricas, e o procedimento consiste basicamente na escolha das matérias-primas e a sua formulação. As massas cerâmicas são formuladas de acordo com alguns fatores dependendo do tipo de processamento e produto final. As massas tradicionais adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo e feldspato) e outros materiais plásticos como argila (caulim). O presente estudo almeja o emprego dos resíduos de quartzitos como matéria-prima na composição da cerâmica, principalmente na substituição de parte dos materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua composição mineralógica um alto percentual de quartzo, e em menor proporção feldspato e mica. As amostras de quartzitos estudadas, cinco em total, com diferentes tonalidades de cor que foram: quartzito branco, quartzito preto, quartzito dourado, verde e rosa, foram caracterizadas através de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Dentre os quartzitos estudados, o dourado e o rosa apresentaram os maiores teores de SiO₂ (acima de 90%) e menores teores de Fe₂O₃ (menos de 1,0 %). Enquanto que os outros quartzitos, principalmente o branco (70,7 % de SiO₂ e 4,3 % Fe₂O₃) e o preto (44,3 % SiO₂ e 25,3 % Fe₂O₃), mostraram baixos teores de SiO₂ e altos teores de Fe₂O₃, não recomendados para a fabricação de massas cerâmicas. A adoção da alternativa de aproveitamento desses resíduos poderá não apenas diminuir o impacto ambiental da mineração de rochas de quartzitos, como também possibilitará a agregação de valor para esse material, principalmente para o uso industrial.

Palavras-chave: Quartzito; resíduos; caracterização; cerâmica.

INTRODUÇÃO

O termo massa cerâmica corresponde a uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico. Uma massa cerâmica deve possuir características necessárias para possibilitar um aperfeiçoamento durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais requeridas (Vieira, 2001). Na fabricação de peças cerâmicas é bastante comum a mistura de dois ou mais materiais para a composição da massa. Muitos métodos são utilizados para se desenvolver formulações de massas cerâmicas. A maioria destes métodos utiliza técnicas empíricas, e o procedimento consiste basicamente na escolha das matérias-primas e formulação. As massas cerâmicas são formuladas de acordo com alguns fatores dependendo do tipo de processamento e produto final (Casagrande, 2008).

As massas clássicas adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo, feldspato). Também é usada na formulação, uma argila plástica, que pode ser caulim. O quartzo e o feldspato podem ser provenientes de pegmatitos, que contém na sua constituição mineralógica quartzo, feldspato e mica e outros minerais acessórios. O emprego dos resíduos de quartzitos como matéria-prima cerâmica está baseado na substituição de parte dos materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua constituição um elevado percentual de quartzo, feldspato e mica, entre outros (Morelli, 1999).

Diante do exposto, entendeu-se que há necessidade que as indústrias de mineração de quartzito viabilizem o desenvolvimento de estudos tecnológicos para a gestão dos resíduos sólidos visando a sustentabilidade em relação ao meio ambiente. A aplicação desses resíduos em novos produtos, contribuirá sensivelmente para estimular o fortalecimento das empresas mineradoras região nordeste, como de toda a cadeia produtiva.

A adoção da alternativa de aproveitamento desses resíduos poderá não apenas diminuir o impacto ambiental da mineração de rochas de quartzitos, como também possibilitará a agregação de valor para esse material, principalmente para o uso industrial. Este estudo tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso de resíduos de quartzitos oriundos das indústrias da Paraíba, visando sua aplicação como matéria-prima cerâmica em substituição aos tradicionais minerais como quartzo, feldspato e, eventualmente, outros minerais de pegmatitos.

Características dos Quartzitos

O quartzito é uma rocha metamórfica constituída por mais de 80% de quartzo. A interpenetração dos grãos de quartzo confere à rocha uma grande tenacidade. É uma rocha dura e compacta, de fratura subconchoidal ou conchoidal e brilho semelhante ao do quartzo. Os quartzitos contém, além do quartzo, proporções variáveis de outros minerais principalmente feldspato, moscovita, e biotita. Os quartzitos em geral são brancos, cinza claro, amarelo ou castanho. Podem, no entanto, ter outras cores devido a grãos microscópicos de minerais acessórios e, assim, serem esverdeados devido à presença de epidoto, azulados devido à cianita, purpúreos devido a hematita, ou clorita, e pretos devido ao grafite, à magnetita, ou a bitoita. Distinguem-se facilmente dos arenitos porque, quando estes últimos se partem, a fratura dá-se pelo cimento, ficando os grãos do quartzo salientes, enquanto nos quartzitos a fratura corta toda a massa da rocha; de alguns calcários, cujo aspecto é semelhante, distinguem-se por serem muito mais duros e por não darem efervescência com ácidos (Pontes *et al*, 2005).

Quartzitos da Paraíba

Na Paraíba, a grande concentração de rochas de quartzitos ocorre entre os municípios de Várzea e Junco do Seridó. Em Várzea, abrange a Serra do Poção, que tem cerca de 25 quilômetros de extensão e abriga uma

das maiores reservas de quartzito do Brasil. No Estado, os quartzitos são constituídos por quartzo com mias de 75% de SiO_2 . As principais áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba estão na Província da Borborema (Figura 1) cujos depósitos se estendem até os municípios de Equador e Ouro Branco no Rio Grande do Norte. Nessas áreas observa-se uma extração intensa de blocos os quais são beneficiados para confecção de lajotas quadradas ou retangulares para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e em pisos de construção moderna e rústica. A partir da década de 40, a produção dessa rocha cresceu bastante, conquistando cada vez mais novos mercados em Campina Grande, João Pessoa, Natal, Recife, Fortaleza e Salvador, existindo inclusive a possibilidade de inserção no mercado exterior (Souza, *et al*, 2011).

Entretanto, todo esse crescimento não foi precedido por um estudo de viabilidade técnico-econômico desses depósitos, inexistindo os levantamentos geológicos básicos das áreas mineradas, e as operações de lavra ainda são realizadas de forma inadequada, causando uma série de impactos ambientais que comprometem o desenvolvimento sustentável na região.

Resíduos de Quartzitos na Paraíba

A produção mensal de quartzito beneficiado em Várzea é de, aproximadamente, 25 mil m^2 . Pelo menos 25 serrarias trabalham no município, sendo que cada uma beneficia entre 1.000 à 3.000 mil m^2 de pedras por mês. Cada m^2 de quartzito beneficiado é comercializado, em média, a R\$ 15,00. Nas serrarias, as placas de quartzito são transformadas em lajes quadradas ou retangulares, de larguras padronizadas e comprimento livre, de forma a propiciar o seu maior aproveitamento. As aparas maiores são serradas gerando os filetes. Estes são os produtos de maior valor agregado e são destinados, em sua maioria, ao mercado interno e uma pequena parcela ao mercado externo. Nessa fase do beneficiamento são gerados dois rejeitos, um mais grosseiro (aparas e lascas) que é misturado aos da pedreira, e um extremamente fino, proveniente do desbaste da rocha durante o processo de corte com máquinas de disco ou multidisco. A importância do setor de rochas para a economia do Estado e do Brasil é indiscutível, porém esses resíduos gerados são dispostos de forma inadequada no meio ambiente, sem previsão de utilização ou aproveitamento (Figura 1) (Souza, *et al*, 2011).



Figura 1 – Fotografia mostrando o impacto ambiental da indústria de mineração de quartzito em Várzea-PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os materiais usados neste estudo são amostras de rejeitos provenientes da serragem de quartzito da Paraíba. Foram selecionadas e coletadas cinco amostras de rejeitos cuja identificação foi estabelecida pela cor do quartzito (Figura 2). Esses rejeitos são provenientes da empresa Serraria Pedra Itacolomy Ltda, localizada na Rodovia Anísio Marinho, s/n, Distrito Industrial, Várzea – PB. As amostras foram coletadas na forma de placas e filetes, colocadas em sacos plásticos, e devidamente identificadas.

TIPOS DE QUARTZITOS

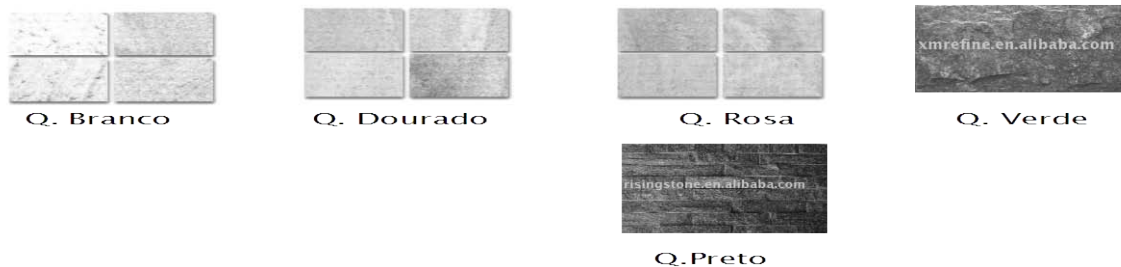


Figura 2 – Tipos de Quartzito: detalhe dos cinco tipos de quartzitos, de coloração diferente, selecionados para estudo.

Métodos

Preparação de amostras: O material ainda bruto foi fragmentado até a obtenção da granulometria adequada para a moagem. Essa etapa foi desenvolvida utilizando-se um moinho de porcelana de laboratório, no qual foi colocado junto ao material 40 bolas de alumina e moído durante 40 min. Ao término da moagem o material foi peneirado manualmente obtendo-se 100 % de material passante em 200 malhas.

Caracterização de amostras: O material foi dividido em alíquotas da qual foi retirada uma fração de 5g de cada uma das amostras para os ensaios de caracterização. Os ensaios de fluorescência de raios-X (FRX) foram realizados em um equipamento Shimadzu, modelo XRF-1800, EDX 720. Os ensaios de difração de raios-X (DRX) foram realizados num aparelho XRD 7000 nos laboratórios do IFRN. Os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizados em um equipamento Shimadzu, modelo SSX 550, na CTGás/RN.

Ensaio de fusibilidade: As amostras dos quartzitos, em granulometria menor que 200 malhas, foram preparadas para realização de ensaios de fusão. Nesse ensaio foi usada um forno com aquecimento até 1.250 °C. Previamente o material era umedecido com água e colocado no cadinho para compactação. Em seguida, o corpo de prova ou cone era retirado e colocado cuidadosamente sobre uma placa refratária e daí para o forno, já na temperatura desejada. A temperatura dos ensaios foi 1.170 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição Química

O conhecimento da composição química e mineralógica dos quartzitos fornece informações relevantes para a avaliação de seus usos específicos em cerâmica, e em outras aplicações, quando usada em combinação com as propriedades físicas. A Tabela I mostra os resultados das análises de FRX das amostras de quartzito de cores: branco, dourado, preto, rosa e verde.

Os teores de sílica (SiO_2), demonstra o caráter essencialmente quartzoso das amostras. Os valores mais elevados (acima de 90%) foram registrados nas amostras de quartzito dourado e rosa. O teor mais baixo de sílica (44,32%) foi observado na amostra de quartzito preto. O segundo óxido em importância provindo da presença do feldspato e da mica é a alumina (Al_2O_3), cujos teores variam de 4,32% (quartzito rosa) a 13,70% (quartzito preto).

Da mesma forma o óxido de potássio (K_2O), terceiro maior óxido encontrado nas amostras é decorrente da presença da mica e do feldspato. Os seus teores variam de 1,91% (quartzito rosa) a 9,79% (quartzito branco). O teor mais elevado de TiO_2 de 1,88% foi constatado na amostra de quartzito preto, a presença de titânio deve estar associado a presença do rutilo TiO_2 . O teor de MgO nas amostras de quartzito branco foi de 0,92% e no quartzito preto de 3,88%. Sua presença deve estar associada a filossilicatos, principalmente a clorita $(\text{MgAlFe})_{12}(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$.

Tabela 1 – Composição química dos quartzitos de cores: branco, dourado, preto, rosa e verde.

Óxidos (%)	Quartzito branco	Quartzito dourado	Quartzito preto	Quartzito rosa	Quartzito verde
SiO_2	70,73	91,21	44,32	91,35	81,21
Al_2O_3	12,19	5,03	13,70	4,32	9,83
K_2O	9,79	2,04	5,02	1,91	5,53
Fe_2O_3	4,39	0,93	25,33	0,99	2,87
BaO	0,99	--	0,79	--	--
MgO	0,92	--	3,88	--	--
CaO	0,45	--	3,96	--	--
TiO_2	0,40	0,22	1,88	0,26	0,44
Rb_2O	0,09	--	0,06	--	0,04
SrO	0,03	--	0,24	--	--
Y_2O_3	0,02	--	0,03	--	--
WO_3	--	0,17	--	--	--
ZrO_2	--	0,05	0,21	--	--
MoO_2	--	0,03	--	--	--
CuO	--	0,03	--	--	--
MnO	--	--	--	--	--
Cl	--	0,30	--	0,40	--
P_2O_5	--	--	0,14	--	--
SO_3	--	--	--	0,77	--
ZnO	--	--	0,07	--	0,03
Cs_2O	--	--	--	--	0,06
Au_2O	--	0,02	--	--	--

Os teores de Fe_2O_3 refletem o conteúdo total de ferro das amostras. Os valores mais elevados de Fe_2O_3 foi encontrado na amostra de quartzito preto com 25.33%. Esse valor é muito elevado para o uso em massa cerâmica, podendo inclusive ocorrer oxidação da peça. Em todos os demais resultados os teores de óxido de ferro variam de 0.93% (quartzito dourado) a 4.39% (quartzito branco). A presença de ferro deve-se provavelmente a presença de biotita, ou de turmalina e outros minerais opacos.

Composição Mineralógica

Os resultados de DRX mostraram que a composição mineralógica dos quartzitos é a seguinte: O quartzito branco é composto por quartzo, moscovita, e feldspato (microclínio). No quartzito dourado há quartzo, moscovita, e microclínio. O quartzito preto é constituído de quartzo, biotita, albita e clorita. O quartzito rosa por quartzo, moscovita, e feldspato (ortoclásio). O quartzito verde é composto de quartzo e moscovita.

As análises de DRX realizadas com cada amostra dos quartzitos, constatou os picos de difração característicos de fases cristalinas referentes ao quartzo (SiO_2) que é o mineral responsável pelo desenvolvimento de plasticidade na conformação da massa cerâmica. A presença da mica moscovita ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OHF})_2$) também foi verificada, que é um mineral de textura lamelar, e que em fina granulometria pode atuar como material fundente, devido a presença de óxidos alcalinos (feldspato microclínio e feldspato ortoclásio), facilitador da formação da fase líquida de grande importância durante a sinterização das peças durante a queima. Observou-se também a presença de outros minerais que, devido à sua pequena proporção, não puderam ser identificados.

Microscopia Eletrônica de Varredura

Os estudos de MEV foram realizados com uma amostra do rejeito gerado pelas máquinas de corte após o beneficiamento do bloco de quartzito. A Figura 3 mostra a micrografia obtida com detector de elétrons secundários, nas quais observa-se a morfologia e o relevo superficial das partículas. Nessa figura, observa-se que os níveis de cinza podem ser relacionados a cada fase mineral. As imagens com tonalidade mais escura correspondem ao quartzo, à mica, ou ao feldspato, e as mais claras, tratam-se de outros minerais, ou contaminantes, possivelmente biotita com alto teor de ferro ou ao ferro metálico, proveniente da serragem ou corte dos blocos. A escala mostrada na micrografia, permite medir as partículas de ferro metálico ou de biotita (fase mais clara), que apresentam um tamanho de aproximadamente de 1 micrômetro.

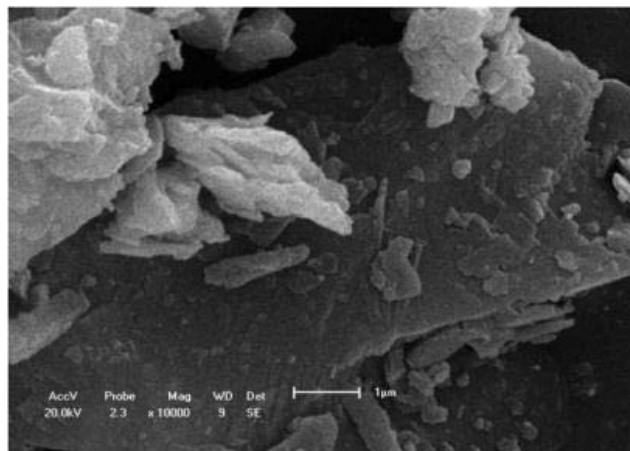


Figura 3 – Micrografia das partículas que compõem o rejeito gerado após o beneficiamento dos quartzitos.

Ensaio de Fusibilidade

O ensaio de fusão realizado com a amostra de quartzito branco resultou em uma massa de cor escuro, em relação à cor do material antes do ensaio (Figura 4). Essa mudança de cor e brilho se deveu à presença de micas, principalmente de biotita, cuja temperatura de fusão é inferior à do quartzo. Além disso, observou-se uma maior retração térmica do corpo de prova ou cone. A retração térmica é a variação da altura do cone antes e após a fusão do material. Nessa figura observa-se que, o quartzito dourado, formou uma massa homogênea, com pouca variação da retração térmica e de sua cor, após o ensaio.

O quartzito rosa apresentou um comportamento semelhante ao do quartzito dourado, isto é, com pequena variação da retração térmica e de sua cor, após a fusão (Figura 5). Esse resultado obtido com quartzito dourado e rosa era esperado, já que os mesmos apresentam teores de SiO_2 maiores que 90% e teores de Fe_2O_3 menores que 1,0%.

O ensaio de fusibilidade realizado com o quartzito verde (Figura 6) resultou em uma massa homogênea, com pouca retração térmica, e a cor após o ensaio é um pouco mais escura, em relação à sua cor antes da fusão. O ligeiro escurecimento da amostra deve-se provavelmente à fusão de minerais micáceos, como a biotita. A Figura 7 apresenta o resultado da fusão do quartzito preto, observa-se a fusão completa da amostra, devido à presença da biotita que nessa temperatura de realização do ensaio atingiu o seu ponto de fusão. O teor de Fe_2O_3 nessa amostra é de 25,33%.



Figura 4 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito branco e quartzito dourado



Figura 5 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito rosa.

.As massas utilizadas na indústria cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos (argila) e não plásticos (quartzo e feldspato), com uma ampla gama de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes. Este ensaio verificou o potencial de substituição parcial ou completa do quartzo pelo rejeito de rocha de quartzito gerado no beneficiamento, sendo que o quartzito rosa e o dourado seriam os recomendados para a realização da formulação da massa e ensaios de conformação e sinterização, respectivamente (Morelli, 1999).



Figura 6 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito verde.



Figura 7 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito preto.

Na composição da massa cerâmica, a argila constitui a base do corpo cerâmico, o quartzo é o ingrediente que dá a estrutura ou esqueleto a esse corpo cerâmico, e o feldspato é o ingrediente que forma a fase vítrea (fundente). Em geral, a formulação de uma massa é de 40% de argila (caulim), 40% de quartzo e 20% de feldspato, mas essas proporções variam bastante, em função do tipo de aplicação. Em alguns casos, a proporção de quartzo pode alcançar até 50% e os outros componentes o restante. (Menezes *et al*, 2002).

CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com os cinco tipos de quartzitos mostraram que as amostras de quartzito dourado e rosa apresentaram a menor concentração de óxido de ferro (Fe_2O_3), que foi de 0,93% e 0,99%, respectivamente. Esses quartzitos apresentaram um potencial importante e poderá ser recomendada sua utilização como matéria prima para a indústria cerâmica. Os quartzitos de coloração branca, verde e preto por apresentarem teores de ferro acima do ideal, não seriam indicados para uso na formulação de massa cerâmica, entretanto os mesmos podem ser utilizados para outras aplicações, como material para revestimento de muros internos e externos.

Com relação à composição mineralógica, os quartzitos são constituídos principalmente de quartzo, mineral predominante, mica (moscovita ou biotita) e feldspato (microclínio, albita, ou ortoclásio). O tipo de mineral, sua proporção ou concentração, definem as diferentes tonalidades do quartzito.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram a possibilidade de utilização do resíduo do beneficiamento do quartzito na fabricação da massa cerâmica. Como sugestão os resíduos de quartzitos estudados podem ser utilizados para fabricação de argamassa, pré-moldados, mosaicos, entre outros, como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado por esse tipo de rejeito.

AGRADECIMENTOS

Ao MCTI/FINEP pelo apoio financeiro. Ao CETEM/MCT pelo apoio técnico. Ao Coordenador Geral do projeto “Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzitos” Dr. Francisco Wilson Holanda Vidal. À ATECEL pelo logístico prestado. Ao Marcos Magalhães do SEBRAE/PB. Ao Marcelo Falcão da SETDE/PB. Ao Prof. Antônio Pedro Ferreira de Sousa e Ao Ranieri Pereira.

REFERÊNCIAS

Casagrande, M.C. (2008). Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 13 (1/2) Janeiro/Abril.

Menezes, R. R.; Neves, G. A.; Ferreira, H. C. (2002). O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 6, n. 2, p. 303-313.

Morelli, M. (1999). Fundamentos da formulação de materiais cerâmicos. UFScar/UNESP, São Paulo, 15 a 16 de julho, 82p.

Pontes, I.F.; Cardoso, F.W.H. (2005). Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil: V simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste.

Souza, M.M, Felipe, L.C.O, Viera, E.V, Neves, G.A, Souza, J.B.M. (2011). Caracterização tecnológica de Resíduos de Quartzitos da Paraíba e Rio Grande do Norte visando seu aproveitamento na indústria cerâmica. Anais do 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho, Porto de Galinhas, PE.

Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N.; Filho, J. D. (2001). Formulação de Massa de Revestimento Cerâmico com Argilas Plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Taguá (SP). *Cerâmica Industrial*, Novembro/Dezembro.

ALTERABILIDADE ACELERADA POR IMERSÃO DA FÁCIES EXPORTAÇÃO DO SIENITO MARRON IMPERIAL

W.J.M. Ribeiro¹, E.A. Menor², F.M.C. Oliveira², S.S. Barreto²

¹Coordenação de Química, IFPE – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Avenida Professor Luis Freire, 500, Recife, PE, 50740-540. E-mail: wagneribiero@yahoo.com.br

²Departamento de Geologia, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
Avenida Acadêmico Hélio Ramos s/n, Recife, PE, 50740-530. E-mail: menor@terra.com.br

RESUMO

Um estudo de lixiviação ácida acelerada do granito Marrom Imperial, fácies export, é apresentado neste trabalho. Os ensaios foram feitos utilizando-se corpos de prova de 5x5x2 cm, totalmente imersos em solução de H₂SO₄, HNO₃, H₂SO₄ + HNO₃, e HCl (pH = 3), por períodos de 30 e 60 dias.

Sob diferentes condições de ensaio, o aumento de porosidade mostrou-se diretamente associado ao tempo de imersão dos corpos de prova, ao tipo da solução lixiviante, e aos mecanismos de dissolução aí desenvolvidos. As maiores variações ocorreram sob imersão por 60 dias em HNO₃ e mistura H₂SO₄/HNO₃, constatando-se porosidades finais de 1,019 e 1,054%, respectivamente, que ultrapassam limites recomendados na literatura.

Foram evidenciados dois mecanismos de ataque químico: em período <30 dias, predominaram processos de dissolução. Em maiores períodos de imersão, a solução lixiviante revelou poder oxido-redutor, sobretudo potencializado em presença de minerais opacos ou máficos.

As perdas de massa mais significativas foram produzidas por soluções lixiviantes H₂SO₄/ HNO₃ e de HCl, observando-se que nem sempre a perda de massa acompanhou o aumento de porosidade.

A absorção d'água mostrou-se diretamente associada à elevação da porosidade, principalmente sob lixiviação com HNO₃ ou com H₂SO₄/ HNO₃. As maiores perdas de brilho, foram produzidas pela lixiviação com HCl, denunciando uma forte susceptibilidade dos feldspatos. Em termos de oxidabilidade, o fácies export mostrou sensível susceptibilidade a processos de decaimento provocados por períodos de molhagem e secagem, seguidos de resfriamento e aquecimento.

O conjunto dos resultados recomenda cautela na utilização deste fácies em revestimentos externos, particularmente em regiões urbanas industriais e costeiras onde o *spray* salino, combinado com as contaminações de SO_x, promovem a formação de HCl diluído em águas de chuva. Nestas condições o decaimento de placas lustradas deverá sofrer alterabilidade crítica ao termo de alguns anos após aplicação.

INTRODUÇÃO

Os materiais pétreos constituem, de longe, um dos mais antigos materiais utilizados pelo Homem, apresentando uma grande gama de utilizações em nosso cotidiano. Este artigo aborda o estudo de alterabilidade acelerada do fácies de exportação do Sienito “Marrom Imperial”, muito utilizado em revestimentos. Quando aplicado, este fácies passa a sofrer a ação dos agentes intempéricos, notadamente dos poluentes atmosféricos. Como objetivo fundamental, visa-se avaliar qualitativamente e quantitativamente o desempenho de suas placas lustradas, quando submetidas à ação de agentes químicos, de modo a se prever a resistência ao decaimento. Desta forma, pretende-se definir sua qualidade como produto lítico e, por conseqüência, as finalidades mais adequadas para sua utilização.

A litologia selecionada para estudo corresponde a um dos cinco fácies maiores do Complexo Bom Jardim, classificada genericamente por Guimarães e Silva F^o (1992) como sienitos marrons muito grossos. Suas principais ocorrências localizam-se em Pedra do Navio e Fazenda das Pedras, no município de Bom Jardim-PE. Ocorrem sob formas líticas lenticulares, integrando a Suíte shoshonítica datada do Neoproterozóico. Esta rocha tem muita aceitação nos mercados nacional e internacional, sob o nome comercial de Marrom Imperial (Imperial Brown), exibindo uma textura granular isotrópica, constituída essencialmente por cristais de feldspatos regularmente distribuídos em uma matriz máfica homogênea, o que produz um padrão estético bastante atraente.

Em placa polida o Granito Marrom Imperial possui três fácies distintos. O primeiro deles é formado essencialmente por feldspatos marrons com auréolas finas de tonalidade rosa acentuada, imersos em matriz formada principalmente por minerais máficos de tonalidades de negra a negro-esverdeada; o segundo apresenta feldspatos marrons, com auréolas finas de tonalidades rosa clara a branca, imersos em matriz composta essencialmente por minerais máficos negros a negro-esverdeados; e a terceiro, é formado por feldspatos marrons sem auréola (fácies exportação, também chamado fácies 2), igualmente imersos em matriz composta por minerais máficos de cor negra a negro-esverdeado. Este último foi o fácies escolhido para estudos de alterabilidade.

AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Amostras de placas lustradas do fácies *export* foram obtidas em marmorarias, cortadas em corpos de prova de dimensões 5x5x2 cm, pesando aproximadamente 160 gramas, conforme norma NBR 12766. Os ensaios e/ou análises realizadas tiveram como alvo a caracterização petrográfica, mineralógica, química, tecnológica e de alterabilidade, do fácies, assim como suas prováveis alterações ante a acidificação das águas meteóricas, decorrentes de modificações ambientais impostas por ação antrópica. Os ensaios para determinação dos índices físicos (massa específica aparente seca e saturada, porosidade e absorção aparentes), foram desenvolvidos utilizando-se a norma ASTM NBR 12766. Ensaios para determinação da composição química do fácies foram efetuados a partir de análises químicas desenvolvidas nos laboratórios da ACME (Labs Analytical Laboratories Ltda), sobre material não lixiviado. Análise petrográfica foi desenvolvida para avaliação qualitativa e quantitativa da composição mineral do faces estudado, aplicando-se a norma ASTM NBR 12768/1992.

As determinações dos índices físicos foram desenvolvidas através de ensaios técnicos padronizados (massa específica aparente, porosidade e absorção aparentes), utilizando-se a norma ASTM NBR 12766, tendo sido realizados antes e após os ensaios de alterabilidade acelerada, para monitoramento das possíveis modificações apresentadas pela litologia. Os índices físicos de amostras sãs, como das amostras lixiviadas, foram determinados segundo a norma ASTM NBR 12766 (1992), por meio do método das três pesagens, para determinação dos índices físicos: massa específica aparente seca, massa específica aparente saturada, e porosidade aparente. Os resultados foram então comparados para acompanhamento do processo de decaimento do material estudado, após ensaio de lixiviação estática. Neste sentido foram utilizados valores estabelecidos pela norma ASTM C-615, assim como aqueles propostos por Frazão & Farjallat (1995).

Para os ensaios de imersão, tomou-se como base o ensaio de lixiviação estática, denominado pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo) como “ensaio de alterabilidade por imersão em líquidos reativos”, conforme metodologia estabelecida neste organismo e recomendada por Frascá (2003), Becerra-Becerra e Costa (2003, 2007), e Silva (2007).

Neste trabalho, o material foi totalmente imerso em soluções reativas, com pH = 3 (mais próximo da faixa de pH das chuvas ácidas em grandes centros urbanos), por um período de 30 e 60 dias, embora Frascá (2003) tenha utilizado para estes ensaios uma imersão parcial de litologias em soluções reativas com pH entre 1 - 1,5 por período de 30 dias (condições mais aceleradas). Por sua vez, Becerra-Becerra e Costa (2003, 2007) e Silva (2007), fizeram imersão de litologias em soluções reativas por período de 20 dias sob pH = 3.

A litologia selecionada foi submetida a ensaios de alteração acelerada frente a soluções dos seguintes reagentes: ácido sulfúrico 0,0005 M, ácido nítrico 0,001 M, mistura de ácido nítrico e sulfúrico na proporção de 1:2 de concentração 0,001 M de íons H⁺, e ácido clorídrico 0,001 M, utilizando-se para cada ensaio 12 corpos de prova. Os corpos de prova foram totalmente imersos individualmente em 200ml de solução de pH = 3 para cada um dos ácidos selecionados (H₂SO₄, HNO₃, H₂SO₄ + HNO₃, e HCl), por períodos de 30 e 60 dias. Após período de sete dias, a solução lixiviante em que cada corpo de prova se encontrava submerso foi trocada para se manter a concentração destas soluções lixiviantes em pH = 3, e a solução residual armazenada em recipiente fechado

Após os períodos de imersão, os corpos de prova foram colocados em condições ambientais por período de 30 dias. Realizou-se o monitoramento de formação de possíveis eflorescências e sub-eflorescências, as quais não foram observadas em nenhum dos períodos de imersão ou pós-imersão.

O controle qualitativo das mudanças estéticas e desgastes visuais sofridos pelo material foram efetuados a partir da medida do brilho, utilizando-se equipamento Gloss Checker, modelo IG-330, e os resultados comparados com corpo de prova não submetido aos ciclos de imersão. O controle da possível perda de massa sofrida pelo material foi efetuado a partir de comparação da massa do corpo de prova, antes e após os ciclos de ensaio, através da medida da massa destes corpos em balança analítica digital Shimadzu modelo Ay220; com precisão de 4 casas decimais, no Laboratório de Química experimental do IFPE (Instituto Federal de Pernambuco).

Ensaio de determinação da resistência ao envelhecimento por mudança térmica, também conhecido como ensaio de susceptibilidade à oxidação por choque térmico, foi realizado submetendo-se os corpos de prova a ciclos sucessivos de aquecimento a 105 °C, seguidos de imersão imediata em água a 20 °C (norma ASTM EN 14066). O ensaio de choque térmico, para avaliar a susceptibilidade da rocha à oxidação, foi realizado sobre quatro corpos de prova, ao longo de 25 ciclos de aquecimento e resfriamento. O ensaio de choque térmico, para avaliar a susceptibilidade da rocha à oxidação, foi realizado sobre quatro corpos de prova, submetidos a 25 ciclos de aquecimento e resfriamento.

RESULTADOS

Análise petrográfica

O fácies *export* é caracterizado por textura porfirítica inequigranular, constituída essencialmente por pórfiros de feldspato alcalino, plagioclásio, piroxênios, anfibólios, biotita, tendo como acessórios titanita, apatita e opacos, e como minerais de alteração, sericita, opacos e argilominerais. Os feldspatos alcalinos (60%) apresentam-se como fenocristais zonados (1,5 a 2 cm) pertícticos, dos tipos *stringer* e *drops*, e correspondem ao microclínio e ortoclásio reconhecidos, respectivamente, pela macla em grade e Carlsbad. Os plagioclásios (11%) apresentam-se em pequenos cristais recristalizados bordejando o feldspato alcalino, comumente com geminação periclina e fase hóspede das pertitas (Tabela 1). Os minerais máficos (29%) são representados por anfibólios, piroxênios, biotita e titanita. Os anfibólios (hornblenda) constituem

aproximadamente 14% da rocha, apresentam pleocroísmo verde-oliva a verde-claro, dimensão média de 0,7 mm, apresentando-se em agregados anédricos de sub-grãos ou em prismas anédricos. Os piroxênios apresentam dimensão média de 1,5 mm (6%), tons de verde a castanho, intensa alteração e coroa de reação, o que denota o processo de uralitização, apresentando inclusões de minerais félsicos e opacos. A biotita (5%) apresenta-se com tamanho médio de 0,1mm, cor castanha-avermelhada correspondendo ao produto de alteração do anfibólio bem como da desopacitização. Os opacos (3%), de dimensões em torno de 0,07mm podem ser primários ou de alteração, e ocorrem dispersos em grãos anédricos ou com hábito cúbico. Outros acessórios incluem a titanita que se encontra passando por processo de alteração, e apatita (1%), dispersa por toda a rocha (Figura 1).

Tabela 1 - Análise composicional (%) do fácies exportação do Marrom Imperial

Minerais/parâmetros	%
Quartzo	--
Plagioclásio	10
Feldspatos Alcalinos (K-F)	60
Biotita	6
Anfibólios (hornblenda)	14
Granada	--
Zircão	--
Apatita	1
Opacos	3
Piroxênios	6
Titanita/ Epidoto	Tr
Sericita/clorita/calcita	Tr/Tr/--
Granulação	Média a fina
Estrutura	Maciça
Textura	Porfiritica/inequigranular
Microfissuramento	Frequente

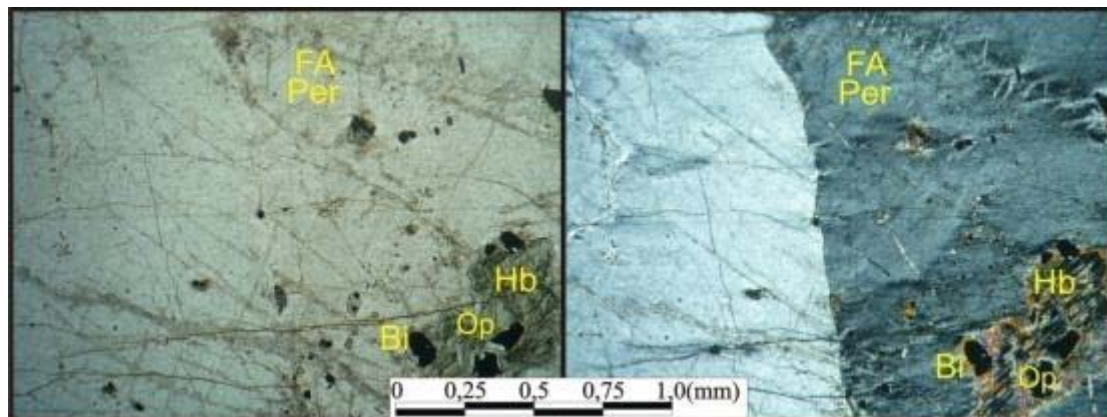


Figura 1 - Fotomicrografia do Marrom Imperial; fácies exportação (sem auréola); nicóis paralelos (à esquerda) e nicóis cruzados –NX (à direita). Contato entre fenocristais de feldspatos potássicos.

Composição química do fácies exportação do Marrom Imperial

Os resultados da análise química desta fácies da rocha ígnea, realizada por espectrometria de massa nos Laboratórios ACME - Labs Analytical Laboratories Ltda (Tabela 2), demonstram que esta litologia é um sienito (presença expressiva de minerais aluminosos potássicos, denunciados pelos teores de silício, alumínio e potássio).

Tabela 2 – Composição química do fácies exportação do sienito Marrom Imperial (valores em %).

Composição química fácies exportação	
SiO ₂	61,07
Al ₂ O ₃	15,33
Fe ₂ O ₃	4,53
MgO	2,43
CaO	2,45
K ₂ O	7,74
Na ₂ O	3,88
TiO ₂	0,94
P ₂ O ₅	0,45
MnO	0,06
Loi	0,50
Cr ₂ O ₃	0,0013

Ensaio de Caracterização Tecnológica

Índices Físicos (rocha sã)

Os resultados apresentaram os seguintes valores de massa específica aparente seca: 2.705 Kg/m³, resultado superior a 2.560 Kg/m³, atendendo portanto às exigências da norma ASTM C-615, referente a rochas silicáticas.

Quanto à porosidade, constata-se que a norma ASTM C-615 não estabelece limites, porém Frazão & Farjallat (1995) sugerem o valor máximo de 1% para esta propriedade. Observou-se, no entanto, que este fácies apresenta valor médio de porosidade da ordem de 0,743% sendo, portanto, inferior ao limite acima estabelecido (Figura 2).

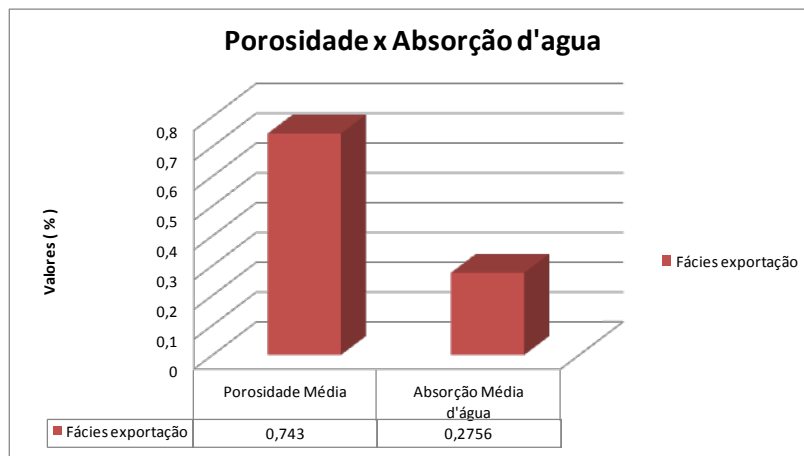


Figura 2 - Valores de porosidade média e absorção d'água do fácies exportação do Marrom Imperial.

Ensaio de alterabilidade acelerada (índices físicos após 30 dias de imersão)

A análise do comportamento das soluções lixiviantes comportou algumas considerações importantes, envolvendo a mineralogia, porosidade, assim como o teor em máficos do fácies estudado. Envolveu também os mecanismos de perda de massa a que o corpo está submetido quando imerso, a natureza e características das soluções lixiviantes, além dos prováveis mecanismos de ação que cada ácido pode apresentar. Adicionalmente, foram consideradas as solubilidades dos produtos formados porque estes aspectos, em conjunto, são os responsáveis por fornecer uma melhor possibilidade de compreensão acerca dos resultados obtidos após ensaios de lixiviação estática.

No tocante à provável perda de massa desencadeada a partir do ensaio de lixiviação estática por imersão em líquidos reativos, ocorrem dois processos que podem provocar este fenômeno. O primeiro seria pela dissolução de minerais constituintes do fácies, em decorrência da atuação da solução lixivante; o segundo seria pelo processo de desagregação de fragmentos do corpo de prova, provocado também pela ação da solução sobre os minerais mais susceptíveis a decaimentos e que, por sua vez, provoca o enfraquecimento da rocha, com conseqüente perda de partes desta. Ambos os mecanismos atuam sobre a porosidade, fazendo com que esta varie. Porém, o local, as dimensões do grão, e o tipo de mineral que constitui o grão desagregado, são aspectos importantes e atuam de forma diferenciada sobre a porosidade, pois variações de massa na superfície do fácies, provocadas pela desagregação de grãos de minerais mais susceptíveis à ação da solução lixivante, podem apresentar menor significância no aumento da porosidade que os processos desencadeados pela dissolução destes minerais no interior do corpo de prova.

Outro fator importante acerca da ação destas soluções lixiviantes sobre os corpos de prova trata da solubilidade dos produtos formados durante o processo de ataque. Nas soluções submetidas ao ataque por ácido nítrico é necessário observar que todos os produtos formados são muito mais solúveis que os produtos na forma de sulfato, fato que pode ter influenciado na menor ação do ácido sulfúrico sobre o fácies quando comparada aos ataques com outros ácidos como o nítrico e o clorídrico, que apresentam maior solubilidade com seus produtos resultantes. A possibilidade de alguns ácidos, notadamente no caso de mistura H_2SO_4/HNO_3 assim como do ácido nítrico isolada-

mente, de atuarem como agentes oxidantes, mesmo em soluções diluídas, aumenta a possibilidade de maior reatividade.

A combinação destes ácidos pode, provavelmente, promover a potencialização da ação reativa desta mistura que, por sua vez, favoreceria os processos de lixiviação. Estes aspectos tornam-se relevantes, uma vez que fornecem subsídios para as prováveis hipóteses e compreensão dos dados obtidos experimentalmente.

A determinação de índices físicos do fácies exportação, após ataque com diferentes reagentes, em imersão por 30 dias (Figuras 3 e 4), mostrou comportamento diferenciado, o que indica um maior aumento de porosidade, caso a caso, dependendo do reagente empregado.

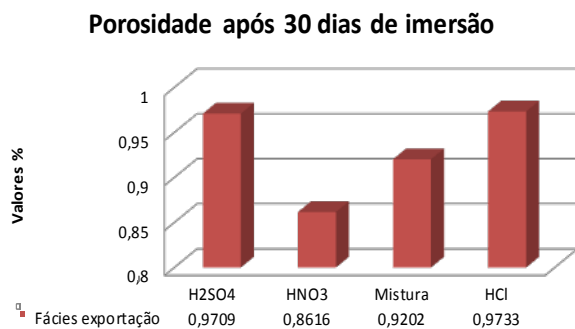


Figura 3 - Porosidade do fácies exportação após período de imersão de 30 dias, nas diferentes soluções lixiviantes.

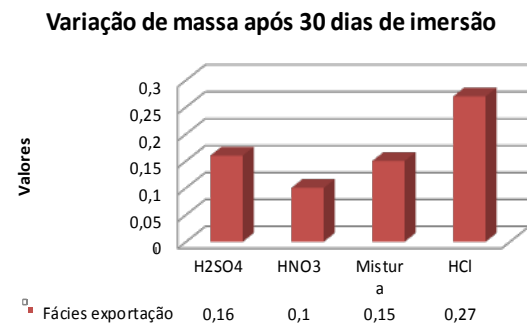


Figura 4 - Variação de massa sofrida pelo fácies exportação, nas diferentes soluções lixiviantes após período de imersão de 30 dias.

Porosidade e variação de massa em período de imersão de 30 dias

Analisando-se o comportamento do fácies estudado em relação ao ataque das soluções lixiviantes, para este período de imersão de 30 dias, observa-se que as maiores variações de porosidade ocorreram após ação da solução lixiviante dos ácidos H_2SO_4 e HCl , o que indica predomínio dos processos de dissolução sobre os processos de oxido-redução. A maior susceptibilidade de feldspatos e feldspatóides à ação do ácido HCl é fato já conhecido da literatura. As soluções lixiviantes contendo ácidos oxidantes, como HNO_3 e mistura de HNO_3 e H_2SO_4 , apresentaram menor ação sobre a porosidade deste fácies. Este fato deve-se em parte ao tamanho e tipo de contato entre os grãos de feldspatos, à forma como estes estão distribuídos no contexto textural da rocha. Assim, os minerais que tiveram maior contato com estas soluções lixiviantes foram os fenocristais de feldspatos que, de certa forma, dificultaram o contato das soluções lixiviantes com outros minerais da rocha, mais susceptíveis à ação oxidante destas soluções como, por exemplo, os máficos e opacos presentes neste fácies (rever Figura 1).

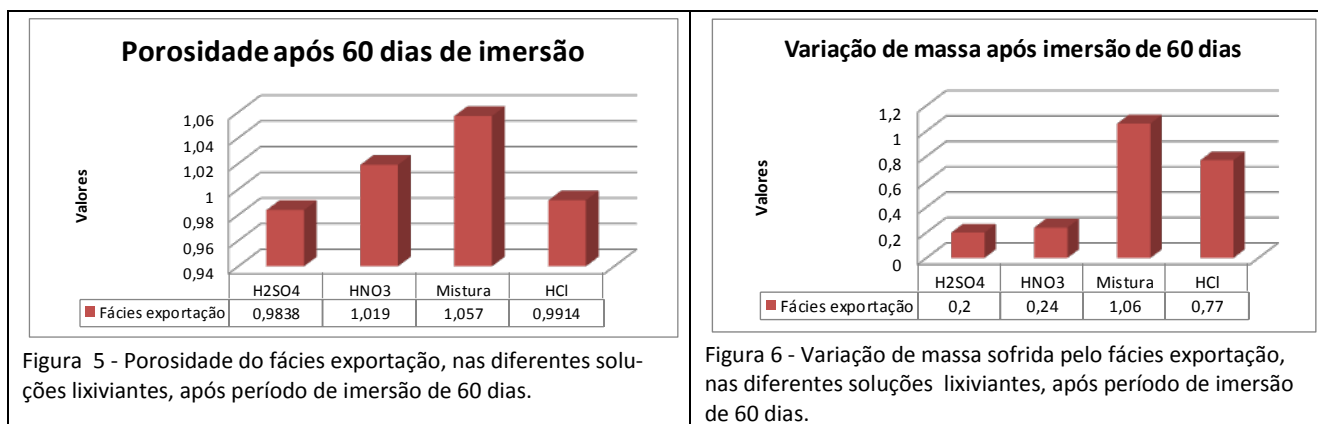
As maiores variações de massa sofridas pelo fácies estudado também acompanharam a tendência da porosidade, indicando assim uma predominância dos processos de dissolução sobre os de oxido-redução. Esta relação entre porosidade e perda de massa nem sempre ocorre de forma direta, uma vez que outros fatores importantes podem influenciar a porosidade, e assim devem ser levados em conta. São os casos de processos de desagregação de fragmentos do corpo de prova, provocados pela ação da solução lixiviante, assim como o tamanho do grão e a localização onde este processo se desenvolveu (se sobre a superfície ou se mais internamente no corpo), e ainda: a presença ou não de pertitas, a distribuição, tamanho e contato dos poros, que podem exercer significativas influências sobre a porosidade da amostra. Além disto, deve-se

considerar que estes poros não se apresentam distribuídos homoganeamente ao longo dos corpos de prova, além da possibilidade de estarem preenchidos por minerais com maior ou menor facilidade de alteração. Cabe ainda ressaltar a possibilidade de existência de minerais secundários com relativa solubilidade preenchendo fissuras, assim como a solubilidade dos produtos formados pelas reações de dissolução, condições estas que podem também interferir na porosidade final.

A análise petrográfica revelou, na matriz do fácies, um percentual de minerais máficos e opacos, distribuídos entre cristais maiores de feldspatos, que apresentam contato direto entre si. Este fato provavelmente dificultou a ação das soluções lixiviantes sobre os minerais mais suscetíveis à alteração, promovendo inicialmente a ação do lixiviante sobre os cristais de feldspatos, inclusive por estes serem predominantes em sua composição. De forma que, para este fácies, a predominância do tipo de contato direto entre os fenocristais de feldspatos, assim como seu quantitativo modal, favoreceu a ação preferencial do lixiviante via dissolução e não a partir de mecanismos de oxido-redução, mais observados quando a ação da solução lixivante, com poder oxidante, se faz diretamente sobre minerais opacos ou ferromagnesianos.

Porosidade e variação de massa em período de imersão de 60 dias

Frente às soluções lixiviantes, após imersão por 60 dias, observou-se nitidamente que os lixiviantes com poder oxidante (HNO_3 e mistura $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$) tiveram uma maior ação tanto sobre a porosidade (Figura 5) como na perda de massa do fácies (Figura 6). Assim, estes dados sugerem um predomínio dos processos de oxido-redução sobre os processos de dissolução, de forma que vencida a barreira inicial oferecida pelos fenocristais de feldspatos, as soluções lixiviantes, devido ao tempo de contato, tiveram assim acesso aos minerais mais suscetíveis à alteração, como os máficos e opacos, promovendo assim uma significativa elevação da porosidade.



Os valores de porosidade, sob ação das soluções lixiviantes de HNO_3 e mistura de HNO_3 e H_2SO_4 , exibiram valores de porosidade superiores ao valor limite recomendado por Frazão & Farjallat (1995) demonstrando que este fácies apresenta significativo processo de decaimento se submetido à ação destes lixiviantes, por período de tempo mais prolongado. Este decaimento, por sua exposição à solução lixivante de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ sugere, portanto, que este fácies apresenta maior susceptibilidade à ação de poluentes atmosféricos antrópicos. Portanto, as mudanças nos índices físicos do fácies, devido à presença de minerais alterados ou suscetíveis de alteração, estão diretamente relacionadas com a diminuição progressiva da resistência mecânica o que, por sua vez, atua sobre a vida útil da rocha, sobretudo quando esta se encontrar exposta a ambientes onde estes reagentes químicos estejam disponíveis. Este fato, de suma relevância, passa a comprometer a vida útil da placa lustrada desta rocha, devido ao significativo aumento em sua porosidade.

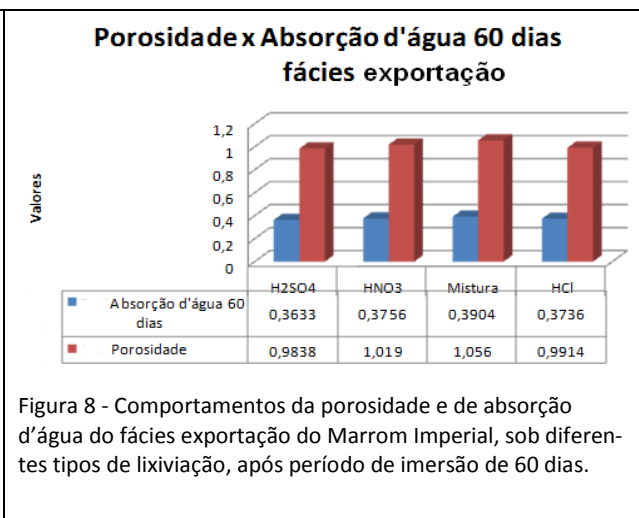
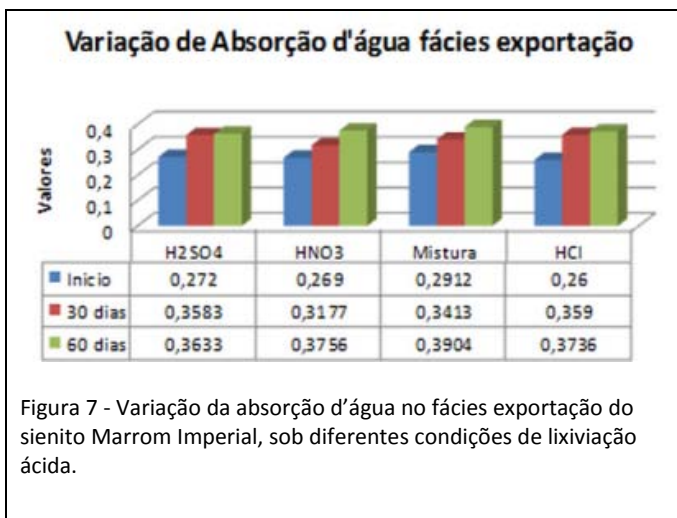
As maiores perdas de massa apresentadas pelo fácies, para este período de imersão, se deram nas soluções lixiviantes: mistura de ácidos ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$), e HCl. No caso de mistura de ácidos, a combinação de suas atuações potencializou os respectivos efeitos lixiviantes, pela exacerbação dos fenômenos de oxido-redução, com observação inclusive de desagregação e remoção de grãos minerais do corpo de prova imerso.

A segunda maior perda de massa foi provocada pela ação da solução lixivante de HCl. Nesta, observa-se predomínio de processos de dissolução, em concordância com a maior suscetibilidade dos feldspatos e feldspatóides à ação deste ácido. A alta solubilidade exibida pelos produtos da reação deste ácido favorece, também, a sua ação lixivante.

De um modo geral, os resultados encontrados evidenciam que a maior ou menor susceptibilidade do fácies à ação de soluções lixiviantes está diretamente relacionada a fatores como: composição mineralógica, presença fenocristais no fácies, tipo de contato entre os grãos, textura da rocha, composição modal, e arranjo e distribuição de minerais máficos e opacos, no fácies.

Índices físicos - absorção aparente de água

Os valores de variação de absorção d'água apresentaram correlação positiva com os de porosidade tanto para imersão de 30 dias, quanto para de 60 dias, de modo que o comportamento apresentado pela absorção, consideradas diferentes soluções lixiviantes, também é acompanhada pela porosidade (Figuras 7 e 8). Verifica-se que, para o período de 30 dias, os maiores valores de porosidade ocorreram sob lixiviação de HCl, seguida pela de H_2SO_4 . Já no período de imersão de 60 dias observou-se que maiores valores de porosidade e de absorção d'água ocorreram sob lixiviação da mistura de $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$. Esta constatação coloca em evidência a existência de dois estágios reagentes: Em primeira estância, ao termo de 30 dias, predominam processos de dissolução; em maior período de imersão, a solução lixivante mostra comportamento oxido-redutor. Neste estágio, os minerais opacos/máficos (contendo íons metálicos reduzidos, como Fe, e outros), do fácies em estudo, ficaram submetidos a mecanismos de reações oxido-redutoras. Desta forma, os maiores valores de porosidade estão também associados aos maiores valores de absorção d'água.



Lixiviação estática à pressão e temperatura ambientes (modificações estéticas)

A imersão total em soluções ácidas objetivou verificar a estabilidade do fácies exportação face a diferentes influências antrópicas causadas pela acidificação das águas, notadamente em áreas costeiras. Alterações es-

téticas afetando tonalidades, provocando o aparecimento de cavidades, e perdas de massa, foram constatadas ao termo de 30 a 60 dias de testes, em suas superfícies lustradas. As principais modificações qualitativas comprovadas foram perda de brilho, via descoloração promovida pela oxidação de seus minerais ferromagnesianos, e aparecimento de rugosidade superficial, devido à lixiviação parcial de minerais constituintes, formação de microcavidades e evidências de microfissuras intergranulares nos planos de clivagens, formando linhas paralelas ou anastomosadas (Figuras 9, 10, e 11).



Figura 9 - Diferentes aspectos do Marrom Imperial, fácies exportação, sob lixiviação de H₂SO₄, desde rocha sã a condições de lixiviação por 30 e 60 dias.



Figura 10 - Diferentes aspectos do Marrom Imperial, fácies exportação, sob lixiviação de mistura HNO₃ + H₂SO₄, desde rocha sã a condições de lixiviação por 30 e 60 dias

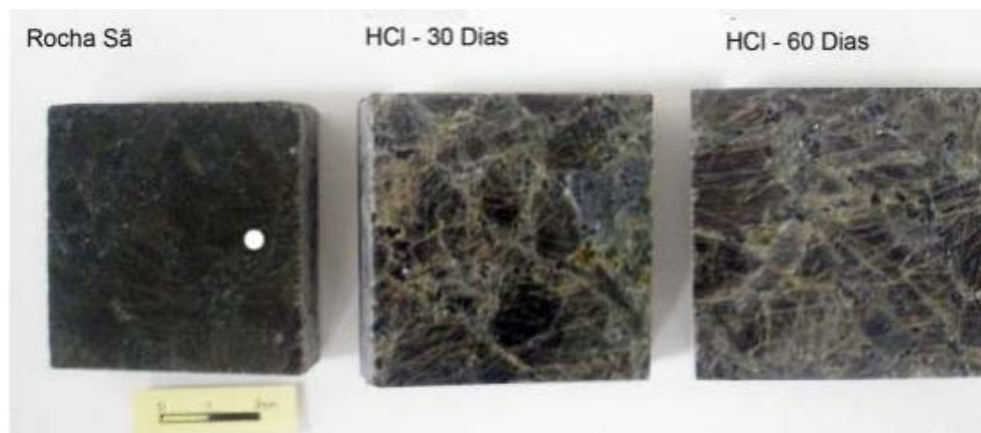


Figura 11 - Diferentes aspectos do Marrom Imperial, fácies exportação, sob lixiviação de HCl, desde rocha sã a condições após 30 e 60 dias

Os ensaios mais prolongados de imersão total (60 dias) apresentaram as maiores mudanças estéticas sobre superfície das placas, sobretudo perceptíveis nos casos de mistura dos ácidos sulfúrico/nítrico, seguindo-se os ácidos sulfúrico e clorídrico, que revelaram intensidades de modificações estéticas muito próximas entre si. A mistura de ácidos sulfúrico/nítrico apresenta-se como o agente mais agressivo em relação à preservação estética do fácies provocando, em diferentes graus de intensidade, modificações na superfície da placa.

Para um período de imersão de 30 dias, o fácies estudado apresentou modificações estéticas em suas características em todas as condições de lixiviação a que foi submetido. Comparando-se os corpos de prova que foram submetidos às diferentes soluções, para um mesmo período de imersão, constatou-se um comportamento semelhante em todos eles, com um pequeno destaque para os casos submetidos à lixiviação da mistura de ácidos sulfúrico/nítrico. Neste período de imersão, o fácies sofreu os maiores danos em seus aspectos mineralógicos e texturais, passando da tonalidade natural marrom escura para marrom esverdeada em algumas porções, resultando em realce do microfissuramento existente, geração de pequenas cavidades devido à lixiviação de constituintes mineralógicos, e perda de brilho original.

As alterações de tonalidade visíveis a olho nu, evidenciadas pelas descolorações das placas lustradas, sugerem que estas modificações são devidas à lixiviação parcial de constituintes minerais da rocha, quando soluções ácidas penetram nas microfissuras. Assim, estas modificações estéticas poderão comprometer o uso deste fácies do Marrom Imperial se utilizado como revestimento externo, principalmente em ambientes susceptíveis à ação de soluções ácidas similares àquelas testadas neste estudo. Regiões costeiras urbanas, por exemplo, possuem a desfavorável convergência de *spray* salino com ácidos provenientes da queima de combustível fóssil, gerando ácido clorídrico.

Diminuição do brilho

Após aplicação, as rochas ornamentais utilizadas generalizadamente como revestimento passam a ficar expostas a diversas condições de alteração como a poluição atmosférica, chuvas ácidas, produtos de limpeza, sucos ácidos, vinagre, etc. Tais condições agem sob a superfície das placas líticas, reagindo com seus minerais constituintes, promovendo modificações significativas no brilho, na coloração, e comprometendo a estética do produto lítico, em razão de seu decaimento físico-químico.

Apesar do brilho ser um dos parâmetros indicadores do grau de alterabilidade sofrido pela placa lustrada, torna-se necessário assinalar que processos de lustre não são homogêneos e, portanto, podem variar de uma placa para outra, ou de um lote para outro, ainda que se mantendo um mesmo procedimento indus-

trial. Assim, monitoramentos significativos devem ser conduzidos sobre corpos de prova obtidos de uma mesma placa lustrada, o que em parte eliminaria as possíveis variações de lustre.

As medidas de perda de brilho assinaladas nos corpos de prova do fácies estudado, sob diferentes ataques lixiviantes, após os ensaios de imersão total de 30 e 60 dias, encontram-se nas tabelas 3 e 4.

Com efeito, as perdas de brilho dependem do tempo de imersão e do tipo de ataque lixiviante a que submetido o fácies estudado. As maiores perdas foram observadas no período de imersão de 60 dias (Figura 12). Apesar da diferença de lustre apresentado por cada corpo de prova, a gradação desta sua perda é constatável com o tempo, não importando o tipo de solução lixiviante empregado.

O aumento de participação de minerais mais susceptíveis à alteração em uma rocha eleva a reatividade desta frente às soluções ácidas lixiviantes, tornando-a mais vulnerável aos processos intempéricos. Alguns outros minerais, como os micáceos, não permitem um “fechamento completo” da superfície lustrada devido à estrutura placoide exibida por estes minerais, promovendo a formação de pequenas cavidades nas placas e, portanto, comprometendo o lustre. Além disto, minerais micáceos, favorecem a ação corrosiva das soluções lixiviantes, assim como os feldspatos, que podem se alterar para argilominerais, notadamente os plagioclásios cálcicos e sódicos, já que estes apresentam-se menos resistentes à ação do intemperismo que os feldspatos potássicos. De modo que, quanto mais susceptível o mineral à alteração, e quanto maior sua participação na composição da rocha, maior também será a diminuição de lustre exibida por placas desta.

Tabela 3 - Perda de brilho do fácies exportação do sienito Marrom Imperial, sob ataque de diferentes soluções lixiviantes, e em diferentes períodos de imersão.

Fácies exportação	Início	30 dias	60 dias
H ₂ SO ₄	69,3	59,2	42,2
HNO ₃	69,1	57,3	48,4
H ₂ SO ₄ / HNO ₃	69,5	60,3	54,8
HCl	64,5	53,6	37,6

Tabela 4 - Perda de brilho percentual do fácies exportação do Marrom Imperial, por período de imersão em diferentes soluções lixiviantes.

Solução	0-30 dias	0-60 dias
H ₂ SO ₄	14,57	39,1
HNO ₃	17,1	19,82
H ₂ SO ₄ / HNO ₃	13,23	21,15
HCl	16,9	41,7

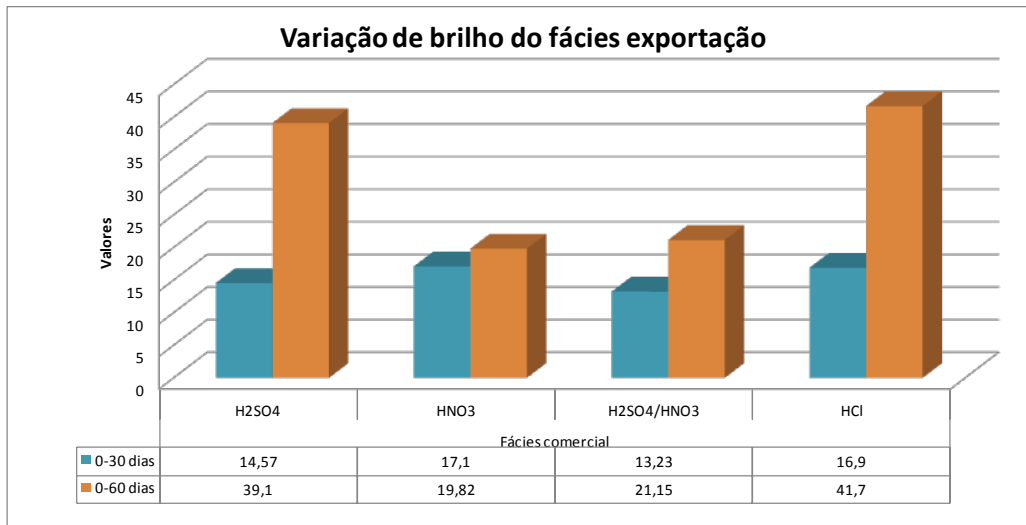
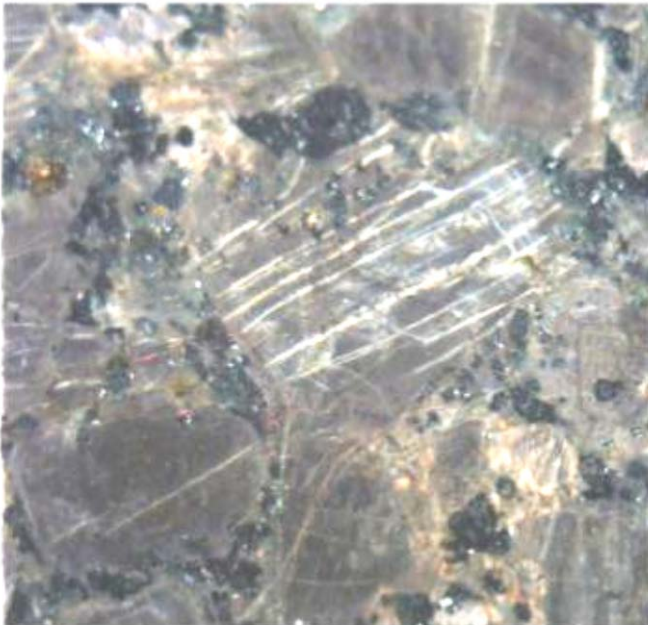


Figura 12 - Variações de perda de brilho exibido pelo fácies exportação do sienito Marrom Imperial, nos diferentes períodos de imersão de 30 e 60 dias, em diferentes soluções lixiviantes

Oxidabilidade por choque térmico

Os valores médios de perda de massa apresentadas pelo fácies estudado, após os ensaios de oxidabilidade por choque térmico, mostraram diferenças pouco significativas ($< 0,1g$; vide tabela 5). Neste sentido, não foram observados efeitos degradativos acentuados a olho nu sobre os corpos de prova, embora tenham sido percebidas, em pontos esparsos, manchas avermelhadas típicas de oxidação de minerais metálicos contendo ferro (Figura 13), indicadoras da presença de processos de óxido-redução.



ENSAIO OXIDABILIDADE POR CHOQUE TERMICO
MARRON IMPERIAL FACIES 2

Embora discreta, estas variações de massa evidenciam o comportamento distinto do fácies investigado, condizente com o teor de opacos e de piroxênios que possui. Neste ensaio, se fez necessário considerar a presença de opacos e de outros minerais contendo espécies metálicas, como é o caso das biotitas, piroxênios e anfibólios, presentes na composição mineralógica deste fácies.

Figura 13 - Indicações de oxidação em corpo de prova do fácies exportação (fácies 2) do Marrom Imperial.

Tabela 5 - Fácies exportação do Marrom Imperial: valores médios das perdas de massa, após ensaios de oxidabilidade, por choque térmico

	Início	Após os 25 ciclos	Diferença de massa
Fácies exportação	133,7728g	133,6857g	0,0871g

CONCLUSÕES

A composição química e mineralógica do fácies exportação, ratificando sua composição sienítica, apresenta fenocristais de feldspatos KF, minerais máficos, e uma certa quantidade de minerais opacos, passíveis de alteração intempérica relativamente rápida. Sob diferentes simulações de processos de lixiviação ácida acelerada, o aumento de porosidade esteve diretamente associado ao tempo de imersão dos ensaios, ao tipo de ácido constituinte da solução lixiviante, e aos mecanismos de dissolução desenvolvidos por estes. As maiores variações de porosidade ocorreram em período de imersão de 60 dias, nos casos de ácido nítrico e de mistura ácido sulfúrico/nítrico, constatando-se porosidades finais de 1,019 e 1,054%, respectivamente, que ultrapassam o limite recomendado por Frazão & Farjallat (1995). Neste caso, infere-se que nestas condições ocorre um decaimento mais significativo. Destaca-se ainda que estas soluções lixiviantes, que promoveram as maiores variações de porosidade, são soluções com poder oxido-redutor. Esta constatação nos assinala fortemente para o fato da existência de dois mecanismos de ataque químico: em período menor que 30 dias, predominaram processos de dissolução. Em maiores períodos de imersão, a solução lixiviante tem poder oxido-redutor, sobretudo potencializado em presença de minerais opacos ou máficos, contendo íons metálicos reduzidos, como Fe, e outros.

Os mais significativos valores de perda de massa ocorreram após período de imersão de 60 dias, nas soluções lixiviantes com mistura de ácidos $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$, e na de HCl. Portanto observa-se que nem sempre a perda de massa acompanha o aumento de porosidade, visto que outros fatores lhe estão também associados, como tamanho do grão, localização onde o processo de desagregação se desenvolveu (se sobre a superfície ou se mais internamente no corpo de prova), além da distribuição, tamanho e contato entre estes espaços vazios. Além disto, podem ocorrer outros fatores como o preenchimento por minerais de maior ou menor facilidade de alteração, presença de minerais secundários em fendas e fraturas, além de maior solubilidade em água, de produtos formados nas reações de dissolução.

Quanto à absorção d'água, seu comportamento apresenta-se diretamente associado à elevação da porosidade, de modo que seus maiores valores se deram no período de imersão de 60 dias, para as soluções lixiviantes ácido nítrico e mistura dos ácidos sulfúrico/nítrico, as mesmas que promoveram as maiores variações de porosidade. Ficou constatado que a elevação dos valores de absorção d'água não apenas indica aumento da sua porosidade, mas também aumento significativo na conectividade desta, desencadeada pela ação destas soluções lixiviantes.

As determinações de brilho, antes e após os períodos de lixiviação, apresentam suas maiores perdas sob ação da solução lixiviante HCl, em período de imersão de 60 dias. Este fato assinala fortemente a maior susceptibilidade dos feldspatos, de forma que é recomendável maior cautela no emprego deste fácies do Marrom Imperial em regiões costeiras, onde o *spray* salino, combinado com as contaminações de SO_x , promovem a formação de HCl.

Em termos de oxidabilidade, o fácies estudado demonstrou ser susceptível à ação de processos de decaimento provocados por períodos de molhagem e secagem, seguidos de resfriamento e aquecimento. Fato

este que, associado à utilização do material em regiões litorâneas de clima tropical úmido, aceleraria ainda mais criticamente os mecanismos de decaimento da rocha.

REFERÊNCIAS

ABNT, 1992. NBR 12768. Rochas para revestimento: análise petrográfica. Rio de Janeiro, *Assoc. Brasileira de Normas Técnicas*, 2 p.

ABNT, 1992. NBR 12766 - Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro, *Assoc. Brasileira de Normas Técnicas*, 2 p.

ABNT, 1995. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, *Assoc. Brasileira de Normas Técnicas*, 2 p.

BECERRA-BECERRA, J.E. e COSTA, A.G., 2003. Procesos de alterabilidad en granitos ornamentales brasileños. Diagnósticos y técnicas de evaluación. Medellín, Colombia, *Soc. Colomb. Geol.*, In Memorias IX Congr. Colombiano Geología, p. 275-278.

BECERRA-BECERRA, J.E. e COSTA, A.G., 2007. Ensaio de alteração acelerada para avaliação da durabilidade de seis granitos ornamentais brasileiros. *Geonomos*, 15(2), p. 33-42.

FRASCÁ, M.H.B.O., 2003. Estudos Experimentais de alteração Acelerada em rochas graníticas para revestimento. São Paulo, *Escola Politécnica/USP*, Tese Doutorado, 218 p.

FRAZÃO, E.B. e FARJALLAT, J.E.S., 1995. Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas. São Paulo, *Rev. Rochas de Qualidade*, 124, 8 p.

GUIMARÃES, I. e SILVA FILHO, A., 1992. Evolução Petrológica e Geoquímica do Complexo Bom Jardim, Pernambuco. São Paulo, *Rev. Brasil. Geoc.*, In: V Simp. Rochas Ornamentais Nordeste, Recife-PE, p. 230-243.

SILVA, M.E., 2007. Avaliação da susceptibilidade de rochas ornamentais e de revestimentos à deterioração – um enfoque a partir do estudo em monumentos do barroco mineiro. Belo Horizonte, *UFMG*, Tese Dout., 180 p.

PROBLEMAS EM INTERVENÇÕES NO PATRIMÔNIO HISTÓRICO NACIONAL SEM CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

¹R. E. C. da Silva, ¹R. C. C. Ribeiro

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, rcoppede@cetem.gov.br

RESUMO

Temos assistido um grande interesse na investigação de materiais compatíveis à conservação e restauração de edificações históricas, com o objetivo de evitar intervenções radicais, perdas e danos às valiosas estruturas patrimoniais. No caso de prédios tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Arquitetônico Nacional – IPHAN, os cuidados são tomados desde a coleta da amostra para caracterização tecnológica até a escolha criteriosa de materiais iguais ou substitutos com as mesmas características. O exemplo que estudamos refere-se a um prédio histórico localizado na cidade do Rio de Janeiro, cujo revestimento de rocha ornamental da parte externa inferior havia sido retirado, e deveria ser substituído por outro igual. A equipe do CETEM coletou duas amostras, uma do material original, e outra do material escolhido como substituto, com base na semelhança visual. O trabalho foi executado por interesse da equipe, sem a solicitação formal do proprietário do prédio, que considerou a caracterização uma etapa desnecessária. Os dois materiais foram submetidos aos seguintes ensaios: petrografia, índices físicos, alterabilidade (névoa salina e umidade) e análise química. Os resultados foram muito diferentes entre os dois materiais. Na petrografia pode-se observar que as rochas são de origens, granulação e composição diferentes. Na análise química as composições são diferentes. Os valores dos índices físicos absorção d'água e porosidade do material original são 1,62% e 0,61% respectivamente, três vezes maiores quando comparados ao substituto 0,53% e 0,20% respectivamente.

Esse fato poderá comprometer a estética da edificação em um futuro próximo, uma vez que a rocha escolhida como substituta não se comportará como a aplicada anteriormente, resultando em diferentes tonalidades.

Palavras-chave: restauração, caracterização tecnológica, petrografia.

INTRODUÇÃO

Temos assistido um grande interesse na investigação de materiais compatíveis à conservação e restauração de edificações históricas, com o objetivo de evitar intervenções radicais, perdas e danos às valiosas estruturas patrimoniais.

No caso de prédios tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Arquitetônico Nacional – IPHAN, os cuidados são tomados desde a coleta da amostra para caracterização tecnológica até a escolha criteriosa de materiais iguais ou substitutos com as mesmas características.

A caracterização tecnológica das rochas é de grande importância para as intervenções de restauro, pois permite o conhecimento dos danos, as possíveis causas, o que facilita a proteção e restauração. Os casos de sucesso com participação do CETEM foram as intervenções do Cristo Redentor e Teatro Municipal.

OBJETIVOS

O exemplo que estudamos refere-se a um prédio histórico localizado na cidade do Rio de Janeiro, cujo revestimento de rocha ornamental da parte externa inferior havia sido retirado, e deveria ser substituído por outro igual.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram analisadas duas amostras de rochas, que foram fornecidas pela empresa responsável pela restauração da fachada do imóvel: uma da rocha original e outra da rocha substituta escolhida visualmente.

Foram feitos as seguintes análises: índices físicos (densidade, porosidade e absorção d'água), petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), juntamente, com a espectroscopia de energia dispersa de raios-X (EDS).

Índices Físicos

São denominados índices físicos da rocha as propriedades de massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água.

Para determinação dos índices físicos são utilizados 10 fragmentos de rocha com 5 a 7 cm de diâmetro, os quais são pesados ao ar, após secagem em estufa a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ (peso A), após saturação em água por 48 horas (peso B) e na condição submersa, após saturação (peso C), segunda as diretrizes da norma NBR 12766.

Os valores são obtidos através das seguintes expressões:

$$\text{- Massa específica aparente seca: } \frac{A}{B - C} \text{ kg / m}^3$$

$$\text{- Massa específica aparente saturada: } \frac{B}{B - C} \text{ kg / m}^3$$

$$\text{- Porosidade aparente: } \frac{B - A}{B - C} \times 100$$

$$\text{- Absorção d'água: } \frac{B - A}{A} \times 100$$

Petrografia

A análise petrográfica consiste na identificação detalhada dos constituintes da rocha, na avaliação das implicações de suas propriedades no comportamento posterior de produtos elaborados. É realizada a partir do exame macroscópico, feito com amostras de mão, podendo ser auxiliado por um estereomicroscópio (ou lupa), e do exame microscópico ótico, por luz transmitida, em fatias de rocha (lâminas delgadas), expostas em áreas de aproximadamente $4,0 \times 2,5 \text{ mm}$, e espessuras da ordem de $0,03 \text{ mm}$. Complementarmente, para rochas contendo minerais metálicos não transparentes (caso de vários sulfetos e óxidos, como pirita, calcopirita, magnetita, ilmenita, etc), o exame microscópico é realizado sob luz refletida, a partir de corpos de prova (seções polidas), representando fragmentos rochosos extremamente bem polidos, em abrasivos à base de diamante.

Utilizam-se também, como técnicas auxiliares, ensaios de coloração seletiva de minerais, especialmente em rochas de granulação grossa, de modo a realçar as feições estruturais, e melhor avaliar sua composição mineralógica. São ainda muito utilizadas técnicas de difração ou difratometria de raios x, para identificação de minerais criptocristalinos não-identificáveis por via óptica.

Para a execução das análises petrográficas a norma recomendada é a ABNT NBR 12678.

Alterabilidade

Os ensaios de alterabilidade utilizados para este estudo foram os seguintes:

Névoa Salina

O ensaio de névoa salina ou salt spray test é um ensaio comparativo. Para execução do teste é necessária uma câmara a qual simula um ambiente marinho severo, com concentração de sal e temperatura controlados. Tal câmara denomina-se Câmara de Névoa Salina (CNS) e é padronizada por normas nacional (ABNT – NBR 8094) e internacional (ASTM B117 e DIN 50.021).

SO₂

Este ensaio procura simular a atmosfera de uma região industrial altamente poluída com gás anidro sulfuroso, também conhecido como dióxido de enxofre.

Umidade

Estes ensaios tentam reproduzir, no laboratório, a alteração do material provocada pelas variações da umidade e da temperatura da rocha no campo. O ensaio de ciclagem mais comum é o de umedecimento em água natural ou destilada seguido de secagem ao ar ou em estufa. O tempo necessário para o umedecimento e para a secagem do material depende do tipo da rocha, podendo ser previamente definido através das curvas de variação de umidade com o tempo, obtidas a partir de ensaios de absorção e de secagem (Frazão, 1993). As curvas possibilitam a definição dos tempos mínimos de umedecimento e de secagem que melhor representem os estados saturado e seco do material.

MEV e EDS

As amostras a serem analisadas foram fixadas em superfície adesiva condutora e recobertas com aproximadamente 20 nm de ouro, em *sputter coater* BAL-TEC, modelo SCD 005, de modo a torná-las condutoras, adequando-as a análise ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

O MEV utilizado foi um FEI Quanta 400, equipado com sistema de microanálise por espectrometria de raios X (EDS) Bruker Xflash 4030 com detector SDD (*Silicon Drift Detector*), pertencente ao CETEM.

As análises foram executadas com 25kV de tensão de aceleração de elétron, e analisadas no MEV através de imagens formadas pelo detector de elétrons secundários (ETD, na faixa de dados das imagens).

Preparação das amostras

As amostras foram divididas conforme a figura abaixo.



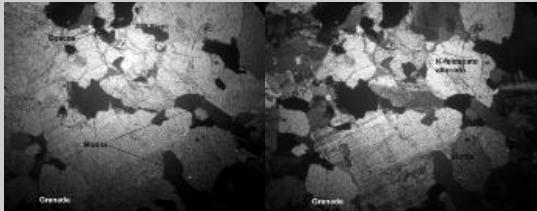
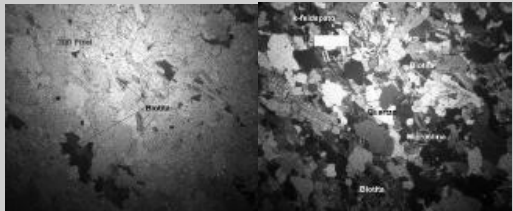
Figura 1 - Amostras entregues ao CETEM e preparadas.

Para os índices físicos, a petrografia e os ensaios de alterabilidade foram utilizados as amostras original e substituta.

A preparação das amostras para o MEV/EDS foi britada, moída e peneirada a seco. Primeiramente, as placas das amostras foram britadas e, em seguida, levadas para a moagem, com o auxílio de um pulverizador (*Fritsch*). Foram adicionadas pequenas quantidades de amostras no recipiente do pulverizador (feito de titânio para evitar qualquer tipo de contaminação das amostras), nas seguintes condições: rotação de 400 r.p.m., durante 2 minutos. Depois de retiradas, as amostras moídas eram dispostas em duas peneiras de 2,360 mm (para retirar as bolas de titânio do pulverizador) 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. A quantidade de amostra retida acima de 0,149 mm retornava para o pulverizador. Quando toda a amostra se encontrasse abaixo de 0,149 mm, a mesma era homogeneizada, e posteriormente era retirada uma amostra para a análise de MEV e EDS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, a seguir, apresenta os resultados dos ensaios de petrografia, índices físicos e alterabilidade das amostras, quais sejam.

Amostra Parâmetros	Original	Substituta		
Cor	Cinza clara, leucocrática	Cinza, leucocrática		
Estrutura	Levemente foliada	Foliação bem marcada por micas		
Textura	Inequigranular e micrografica	Inequigranular, anedral, mirmequítica		
Granulação	Média	Fina		
Assembleia mineralógica	k-feldspato + microclina (40%), plagioclásio (25%), quartzo (20%), biotita (7%), granada (3%), opacos (3%), acessórios (2%).	k-feldspato + microclina (50%), plagioclásio (10%), quartzo (25%), biotita (10%), opacos (3%), acessórios (2%).		
Microfissuramento e alteração	plagioclásio apresenta saussuritização, alterando para muscovita e carbonato; microfissuras nos cristais de plagioclásio e k-feldspato	apresenta microfissuras nos cristais de plagioclásio e k-feldspato		
Natureza da rocha	Ortoderivada	Paraderivada		
Classificação da rocha	Granito	Gnaise		
				
	Fotomicrografias com luz transmitida e com luz polarizada.	Fotomicrografia com luz transmitida e com luz polarizada.		
Índices Físicos				
Massa específica (kg/m ³)	2658,24	2658,04		
Porosidade aparente (%)	1,62	0,53		
Absorção de água (%)	0,61	0,20		
Alterabilidade	Massa Inicial	Massa Final	Massa Inicial	Massa Final
Névoa Salina	4,36	4,33	30,27	30,27
SO ₂	3,81	3,81	29,44	29,44
Umidade	6,23	6,22	28,04	28,03
Observações	Não houve perda de massa significativa			

Análise do MEV e EDS

Para ilustrar as análises realizadas foram escolhidas as amostras (Figuras 4, 5, 6 e 7). Os principais minerais componentes das rochas são: **quartzo** (SiO₂), **plagioclásio** {(Ca,Na)Al (Al,Si)Si₂O₈}, **feldspato** (KAlSi₃O₈), **mica** {K₂(Mg, Fe²⁺)₆₋₄(Fe³⁺,Al, Ti)₀₋₂Si₆₋₅Al₂₋₃O₂₀(OH,F)₄}

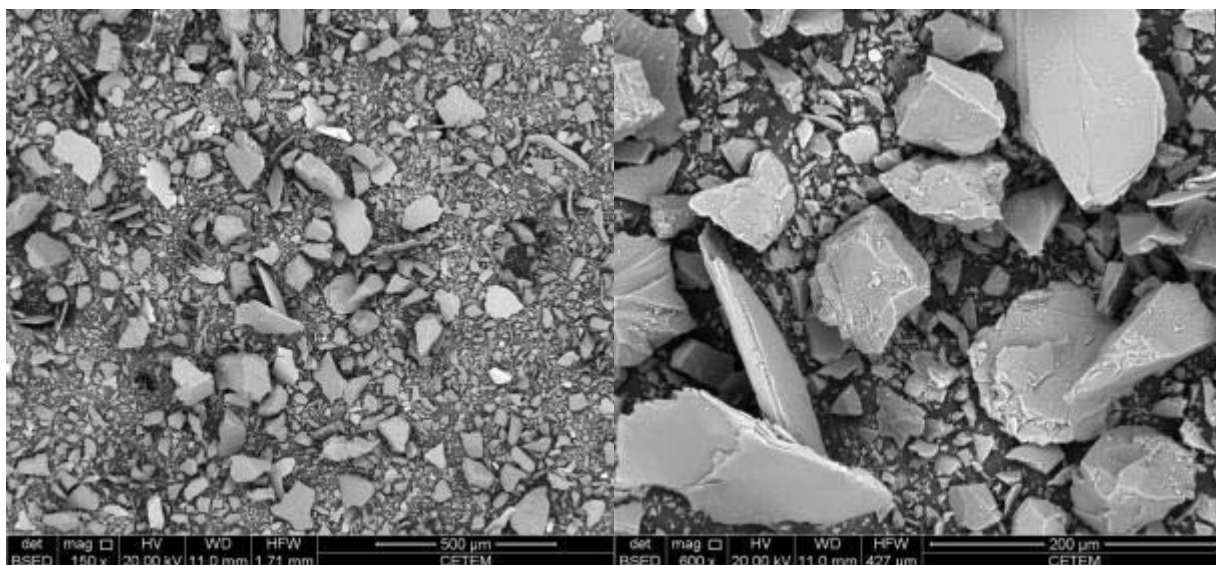


Figura 4 - Resultado das imagens obtidas no MEV para a amostra original.

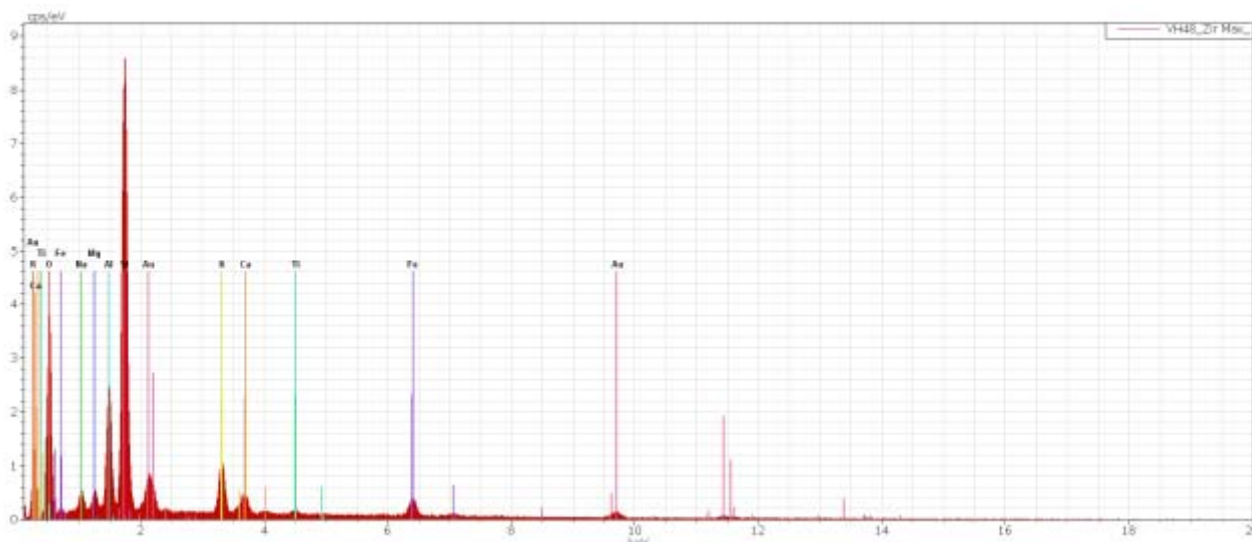


Figura 5 - Resultado das imagens obtidas no EDS para a amostra original.

Na figura 4 podemos observar alguns cristais componentes da rocha fragmentados pela preparação da amostra, com aumentos de 150x e 600x. São cristais de quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita. Na figura 5 podemos observar os picos de do silício (Si) e do oxigênio (O), que formam a sílica (SiO_2). Destacam-se também os picos do potássio (K) do feldspato, do alumínio (Al) do feldspato e plagioclásio, cálcio (Ca) e sódio (Na) do plagioclásio, ferro (Fe) e titânio (Ti) da mica.

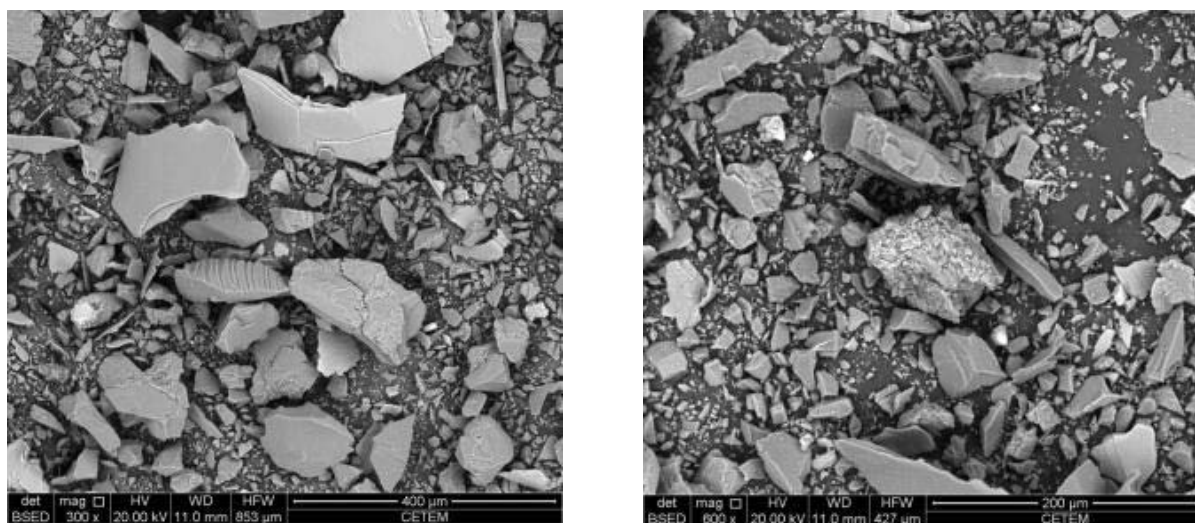


Figura 6 - Resultado das imagens obtidas no MEV para a amostra substituta.

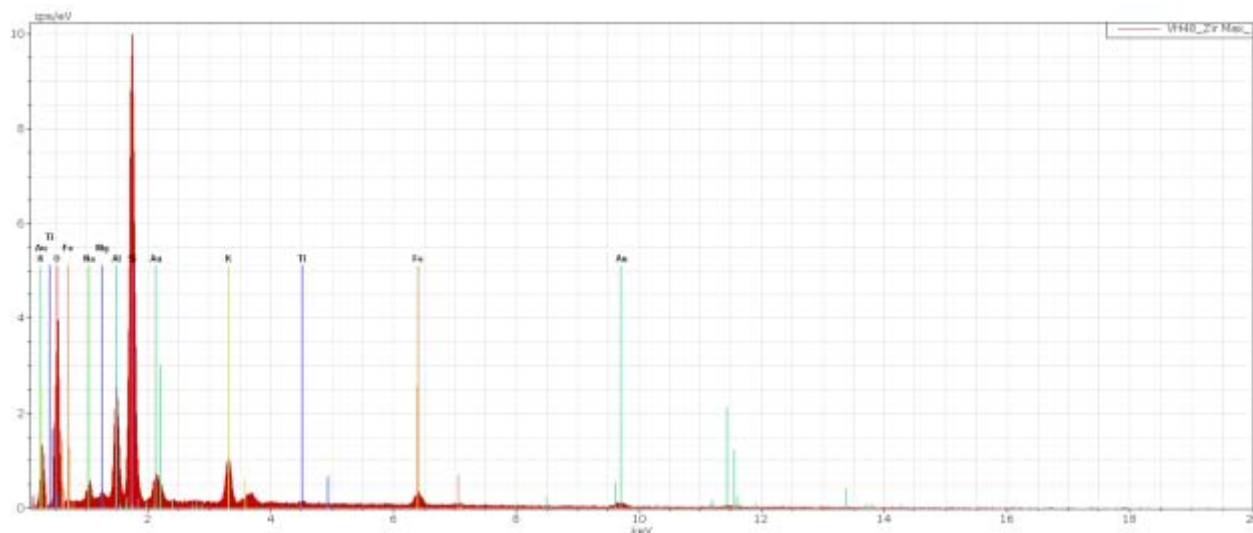


Figura 7 - Resultado das imagens obtidas no EDS para a amostra substituta.

Na figura 6 podemos observar alguns cristais componentes da rocha fragmentados pela preparação da amostra, com aumentos de 300x e 600x. São cristais de quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita. Na figura 7 podemos observar os picos de do silício (Si) e do oxigênio (O), que formam a sílica (SiO_2). Destacam-se também os picos do potássio (K) do feldspato, do alumínio (Al) do feldspato e plagioclásio, sódio (Na) do plagioclásio e ferro (Fe) da mica.

Discussão

A rocha original da fachada possui grã mais grossa, e composição mineralógica um pouco diferente da amostra substituta, pela presença de granada. No caso em estudo a presença da granada indica origem ígnea para a rocha. Já a amostra substituta indica tratar-se de rocha metamórfica pela orientação das plaquetas de biotita conforme consta na descrição.

Apesar das semelhanças visuais destas duas rochas, a origem é diferente. Cada rocha se comporta de maneira diferente diante do intemperismo natural e da técnica de assentamento utilizada para sua fixação.

O ideal é visitar juntamente com um especialista (geólogo) algumas marmorarias no Rio de Janeiro e no Espírito Santo a fim de obter um material igual ou o mais próximo possível do original.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992) *Rochas para revestimento: análise petrográfica. NBR-12.678*. Rio de Janeiro. 2p.

_____ (1992) *Rochas para revestimento: Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. NBR 12766*. 2p.

FRAZÃO, E.B. (1993) *Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais*. Separata do Catálogo de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, p. 12-21. São Paulo.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1974) *Suggested methods for determining the slacking, swelling, porosity, density and related rock index properties*. Lisboa: ISRM Comission on Standardization on Laboratory and Field Tests, 45p.

GEOLOGIA

CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO SERIDÓ, NAS PEDREIRAS DO “PRETO MATRIZ”, MUNICÍPIO DE CURRAIS NOVOS/RN– PROVÍNCIA BORBOREMA

S.F. Oliveira¹, A.L.C. Cunha¹, V.A. Mendes¹

¹CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil, Av. Sul, 2291, Afogados, Recife, PE, 55770-011.
E-mail: saulo.oliveira@cprm.gov.br; andre.cunha@cprm.gov.br; vanildo.mendes@cprm.gov.br.

RESUMO

A área de estudo em questão está compreendida dentro dos limites do município de Currais Novos - RN, como parte do Projeto Santa Cruz, integrante do Programa Geologia do Brasil, executado pela CPRM/SGB com recursos financeiros do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento, na escala 1:100.000, localizada geotectonicamente na Província Borborema, dentro do Domínio Rio Piranhas – Seridó, a rocha encontrada foi denominada como cordierita-andaluzita - biotita xisto com estauroлита e granada. As rochas estão claramente afetadas por zonas de cisalhamento, em campo apresentam alta taxa de deformação e tectônica de alto ângulo, com foliação sub-vertical a vertical e cinemática dextral. O trend regional possui direção NE-SW, concordante com as zonas de cisalhamento presente. Esta rocha está inserida na Formação Seridó, que está litoestratigraficamente posicionada no topo da sequência do Grupo Seridó, que possui idade Neoproterozoica. Na região encontramos uma fácies de mais baixo grau do Grupo Seridó, um granada-biotita xisto, que por vezes também se encontra afetado por cisalhamentos e uma de mais alto grau denominada de sillimanita- biotita xisto. Macroscopicamente a rocha dominante, ou seja, o cordierita-andaluzita-biotita xisto com estauroлита e granada possui coloração cinza escura a preta, possui veios quartzosos mobilizados ou não, cordieritas e veios de quartzo deformados e/ou estirados, pontos esbranquiçados quartzo-feldspáticos, cristais milimétricos a centimétricos de granada e cordierita, esta em forma de nódulos, granulação fina a grossa em estrutura xistosa e textura lepidonematoblástica e/a porfiroblástica. As condições metamórficas atingiram a fácies anfíbolito, acima de 520°C indicada pela blastese de cordierita, estauroлита e a partir da biotita e plagioclásio em meio hidrotermal. Retromorfose para a fácies xisto verde se deu pela cloritização da cordierita e da biotita. O fato de a rocha apresentar um baixo fraturamento, homogeneização do corpo e afloramentos com relevo métrico a decamétrico o tornaram com produto atrativo no mercado europeu.

Palavras-chave: Folha Santa Cruz; Currais Novos; Seridó; Província Borborema; Preto Matriz.

1. INTRODUÇÃO

As pedreiras estudadas neste projeto se encontram na Folha Santa Cruz (SB.24-Z-B-III, escala 1:100.000) a qual é integrante do Programa Geologia do Brasil (PGB), na Retomada dos Levantamentos Geológicos Básicos, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, no âmbito da Superintendência Regional de Recife. Compreende uma área de aproximadamente 3.000 km² delimitada pelas coordenadas 06°00'S a 06°30'S e 36°00'W a 36°30'W, abrangendo o estado do Rio Grande do Norte e uma pequena parte do estado da Paraíba (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Localização geográfica da Folha Santa Cruz e das Pedreiras do Preto Matrix.

O acesso ao município de Currais Novos conseqüentemente o acesso as pedreiras se faz principalmente pela rodovia BR-226, considerada uma espinha dorsal na malha viária do estado do Rio Grande do Norte. E posteriormente por estradas secundárias sem pavimentação. A Pedreira 1 fica localizada na comunidade de Maniçoba de Baixo e a Pedreira 2 e 3 no Alto da Jurema, ambas na Cidade de Currais Novos.

Contexto Geológico Regional

Geotectonicamente as rochas das pedreiras estão localizadas na parte nordeste da Província Borborema, de Almeida *et al.* (1977 e 1981) (Figura 2.1), composta por litotipos precambrianos, e também por exemplares de rochas paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas.

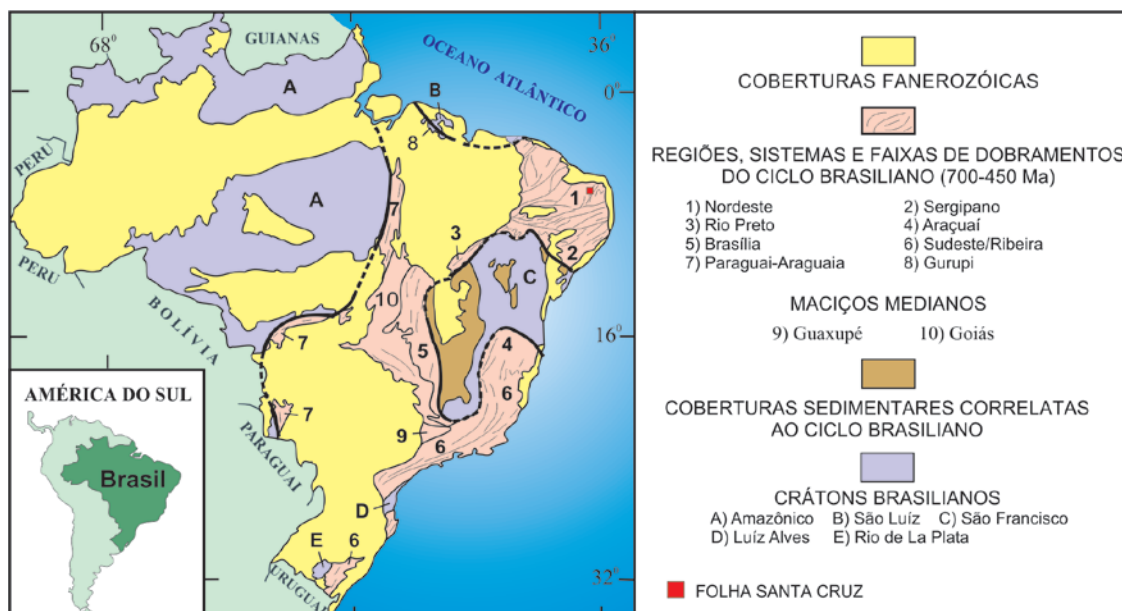


Figura 2.1 – Compartimentação do território brasileiro, segundo Schobbenhaus *et al.* (1984), com a localização da Folha Santa Cruz. A Província Borborema de Almeida *et al.* (1977 e 1981), compreende a Região de Dobramentos Nordeste e a Faixa Sergipana (áreas 1 e 2 na figura).

No presente trabalho, foi utilizada a compartimentação da Província Borborema proposta por Angelim *et al.* (2006), Medeiros (2008, 2011), onde os domínios representariam grandes entidades tectônicas, delimitadas por zonas de cisalhamento importantes (Figura 2.5).

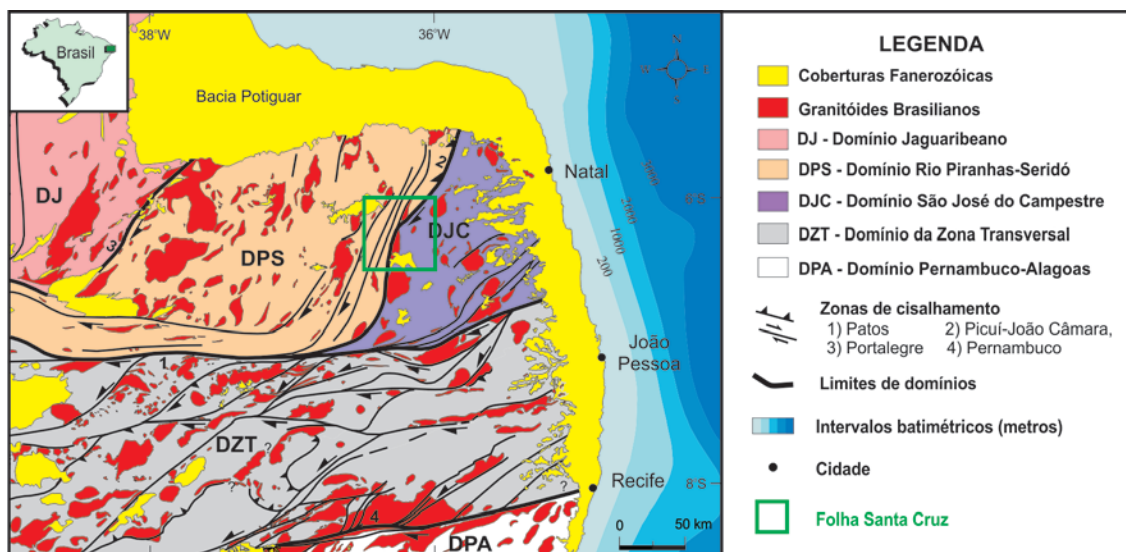


Figura 2.2 - Compartimentação tectônica da porção centro-norte da Província Borborema, segundo Medeiros (2011), com a localização da Folha Santa Cruz.

Nesta concepção a parte oeste, onde estão localizadas as pedreiras do Preto Matrix na Folha Santa Cruz estaria inserida na porção centro-leste do domínio Rio Piranhas-Seridó, o qual seria delimitado a sul, leste e oeste, pelas zonas de cisalhamento Patos, Picuí-João Câmara e Portalegre, respectivamente, enquanto que o limite norte deste domínio encontra-se encoberto por coberturas fanerozoicas da Bacia Potiguar (Figura 2.2).

Com relação ao limite oeste do domínio Rio Piranhas (zona de cisalhamento Portalegre), é atribuído com base nos trabalhos de Jardim de Sá *et al.* (1997), Campelo (1999), Angelim *et al.* (2006), Medeiros (2008 e 2011), apesar das interpretações geofísicas-tectônicas de Oliveira (2008) indicarem que este limite seja ao longo da zona de cisalhamento Jaguaribe-Tatajuba. Neste caso aguardamos estudos mais detalhados de cartografia geológica daquela região para consolidar o modelo.

O domínio Rio Piranhas-Seridó é caracterizado pela presença de litotipos paleoproterozoicos (Complexo Caicó), o qual constitui o embasamento para as supracrustais neoproterozoicas/ediacaranas (Grupo Seridó) sendo eles intrudidos por vários corpos ígneos associados ao magmatismo brasileiro (Figura 2.2).

Também são encontrados inúmeros diques de pegmatito, vários deles mineralizados em água marinha, turmalinas, columbita-tantalita, berilo, muscovita, feldspato, etc.

Como também, são observadas rochas vulcânicas meso-cenozóicas (Basalto Rio Ceará-Mirim e Basalto Macau) e coberturas cenozóicas (Figura 2.2).

Unidades Estratigráficas

A seguir iremos descrever as unidades que ocorrem na região de estudo, acerca das pedreiras, como é visto no Mapa Geológico (Figura 3.1).

Grupo Seridó

Formação Jucurutu

A Formação Jucurutu está constituída principalmente por biotita ± epidoto ± anfibólio paragneisses (Figura 2), rochas calcissilicáticas, metavulcânicas predominantemente básicas e intermediárias, inclusos nos paragneisses ocorrem níveis e nódulos de rochas calcissilicáticas.

Formação Equador

É constituída predominantemente por muscovita quartzitos com fácies arcoseanas, contendo intercalações de metaconglomerados (Figura 3).



Figura 2 - Muscovita-paragnaisse bandado tona-lítico da Formação Jucurutu. Afloramento SF_15



Figura 3 - Fácies de Muscovita metaconglomerado com minerais opacos polimodal, no muscovita quartzito da Formação Equador. Afloramento SF - 09.

Formação Seridó

Sua litologia dominante consta de micaxistos feldspáticos ou aluminosos de fácies de médio a alto grau metamórfico, com sítios restritos de fácies de baixo grau metamórfico. A fácies de baixo a médio grau metamórfico é representada notadamente por biotita xistos granadíferos (Figura 3.4), a fácies de médio a alto grau metamórfico é representada pelo aparecimento das fases minerais seguintes, cordierita, andaluzita e/ou estaurólita (Figura 3.5), já a fácies de alto grau metamórfico é definida pela alta taxa de deformação e aparecimento de sillimanita, localmente com elevado teor de feldspato ou de quartzo.



Figura 4 – Granada-biotita xisto, da Formação Seridó, com cristais de granada milimétricos a cen-timétricos. Afloramento SF_188.



Figura 5 – Cordierita-granada-xisto com nódulos centimétricos de cordierita e com aparecimento de estaurólita, Formação Seridó. Afloramento SF_173.

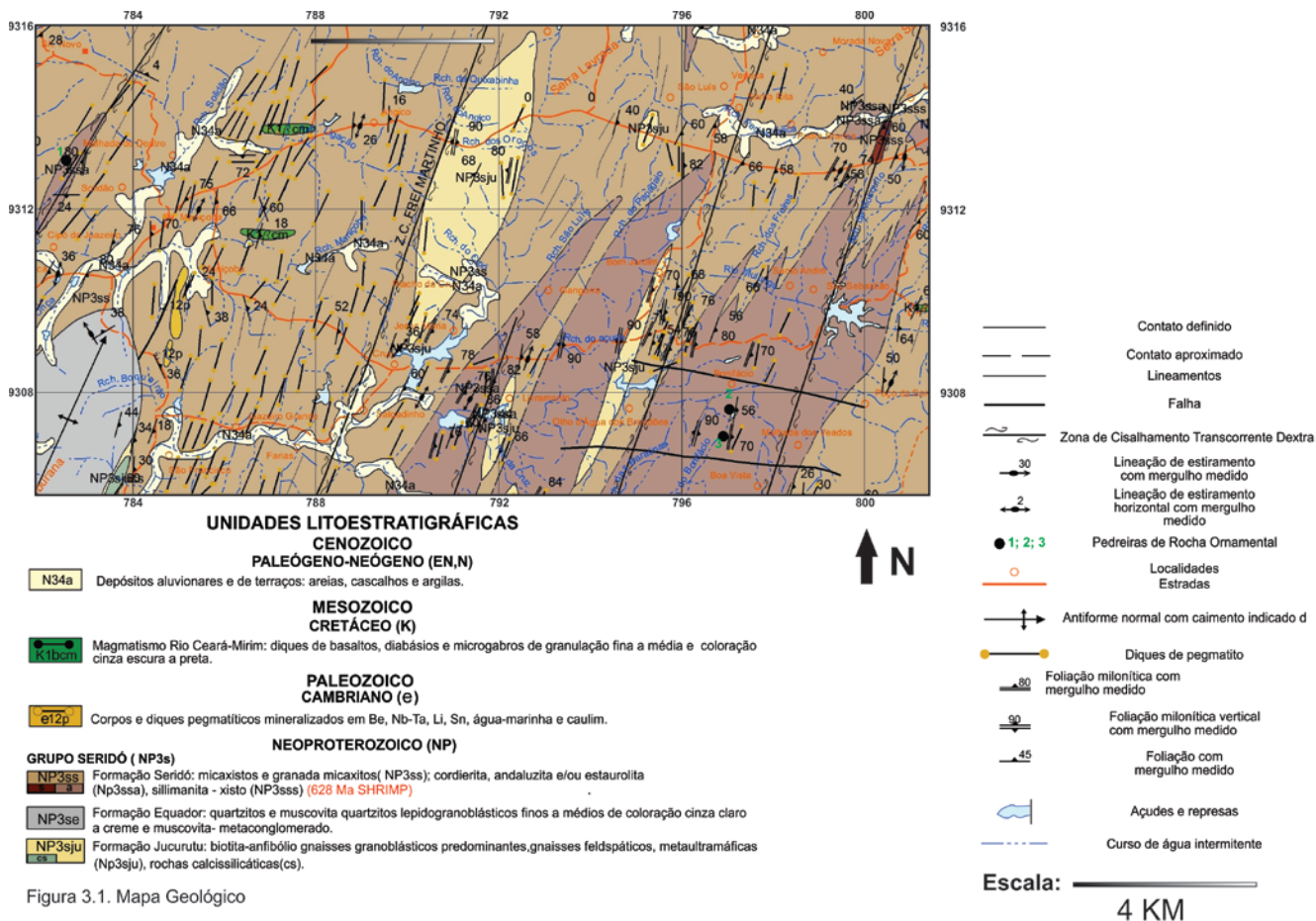


Figura 3.1. Mapa Geológico

3.2 Corpos e Diques Pegmatíticos (e12p)

Os pegmatitos são corpos filoneanos constituídos por megacristais de microclina, plagioclásio, quartzo e muscovita e, menos freqüentemente, biotita. Eles se subdividem em dois grandes grupos, que são os pegmatitos homogêneos e os heterogêneos. Entre as suas mineralizações destacam-se água marinha, turmalina, feldspato, caulim, quartzo, mica, berilo, columbita-tantalita, cassiterita, espodumênio e ambligonita.

3.3 Magmatismo Rio Ceará – Mirim (K1βcm)

As rochas deste magmatismo (basaltos e diabásios/microgabros) ocorrem sob a forma de diques com direção preferencial leste-oeste, por vezes tendo direção noroeste-sudeste, intrusivos em rochas do Complexo Caicó, paragneisses da Formação Jucurutu, micaxistos da Formação Seridó, granitos da Suíte Intrusiva Itaporanga e diques de pegmatitos, bem como blocos arredondados agrupados na direção leste-oeste.

3.4 Depósitos Aluvionares e de Terraços (N34a)

São constituídos por sedimentos arenosos, conglomeráticos e porções argilosas menos comuns.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área estudada possui um *trend* geral com direção SW-NE, bem representado no Domínio Rio Piranhas – Seridó, com as rochas do Grupo Seridó, afetada por zonas de cisalhamento de caráter transcorrente

dextral e uma componente de deformação rúptil gerando falhas, fraturas e juntas preferencialmente na direção ESE-NNW, e acarreta na formação de grandes exposições da rocha fonte (Xisto Seridó) como rocha ornamental.

O litotipo Cordierita-biotita xisto possui uma área de ocorrência em torno de 250 km² dentro da Folha Santa Cruz, e algumas exposições de relevo saliente, tornando-se possíveis alvos de exploração para rocha ornamental. A rocha possui uma taxa de fraturamento muito baixa e uma alta compactação, facilitando assim a retirada dos blocos.

4.1 Pedreira 1- Maniçoba de Baixo

Neste ponto temos a rocha predominante na área um Granada – biotita xisto com cordierita, que compreendem rochas heterogêneas de coloração cinza escura com pontos esbranquiçados quartzo-feldspáticos, ressaltando-se ainda cristais milimétricos a centimétricos de granada. Ocorre também a presença de cristais de cordierita com dimensões milimétricas a centimétricas (Figura 4.1). A estrutura é xistosa e apresentam textura lepidonematoblástica e/a porfiroblástica com granulação média a grossa.

A rocha está afetada por uma zona de cisalhamento de caráter transcorrente e cinemática dextral, denominada de Umburana, em respeito a Serra da Umburana, composto por um grande antifórme com direção NE. Neste ponto a rocha apresenta uma foliação de alto ângulo, com mergulho em torno de 80° e direção NE-SO, não apresenta fraturamento, proporcionando a exploração de blocos de rocha ornamental, que estão abastecendo o mercado exterior (Figura 4.2).



Figura 4.1 – Granada – biotita xisto com cordierita, cinza, de granulação fina a média. Afloramento SF_543.



Figura 4.2 – Pátio de exposição dos blocos do Preto Matrix, prontos para a comercialização. Afloramento SF_543.

4.2 Pedreira 2,3 – Alto da Jurema

Estas pedreiras estão afastadas cerca de 800m, por isto estão sendo consideradas como duas, porém no momento apenas a que fica localizada mais a sul está em plena atividade (Figura 4.2), com blocos sendo explorados e comercializados para o mercado exterior, principalmente o mercado europeu.

A rocha aflorante é um Cordierita – Granada - biotita xisto, possui um aspecto heterogêneo de coloração cinza escura com pontos esbranquiçados quartzo-feldspáticos, ressaltando-se ainda cristais milimétricos a centimétricos de granada. É comum a presença de cristais nodulares de cordierita com dimensões milimétricas a decimétricas (Figura 4.3), porfiroblastos de estauroлита, granada, andaluzita e cristais milimétricos (fibrosos e aciculares) de sillimanita. A litofácies exibe, em geral, estrutura xistosa proeminente e textura lepidonematoblástica e/a porfiroblástica com granulação média a grossa.



Figura 4.2 – Bancada de exploração dos blocos em atividade, do Preto Matrix.



Figura 4.3 – Cordierita – granada biotita xisto, com nódulos de cordierita centimétricos. Afloramento SF-456.

A rocha está afetada por uma tectônica de alto ângulo, gerando foliações que variam o mergulho entre 56° e 70° para sudeste porém não apresentam faixas miloníticas, provavelmente devida às pedreiras estarem localizadas a 1 km de distância de duas zonas de cisalhamento de caráter transcorrente e cinemática dextral, conhecidas por Santa Mônica e Santa Cruz. A deformação rúptil é caracterizada por notáveis falhas verticais e fraturas de direção predominantemente ESE- NNW(Fig 4.3).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.*, v.17, p.1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, nov. 1977, Campina Grande, PB. *Atas do*. Campina Grande: SBG Núcleo Nordeste, 1977. 499 p. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG, 6). p.363-391.
- ANGELIM, L. A. A. et al. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000.** Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/SEDEC-RN/FAPERN, 2006. 119 p. anexo + 2 mapas. Programa de Geologia do Brasil - PGB. Mapeamento geológico. Integrações Geológicas Regionais.
- CAMPELO, R. C. **Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: Integração de dados geológicos e gravimétricos.** Natal, 1999.130p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1999.
- JARDIM DE SÁ, E. F.; MEDEIROS, W. E.; CASTRO, D. L. Contribuição da gravimetria aos modelos de estruturação crustal da Província Borborema, Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17, 16-19 nov. 1997, Fortaleza. **Resumos expandidos.** Fortaleza: SBG. Núcleo Nordeste, 1997. 537p. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG, 15). p.352-357.
- MEDEIROS, V. C. de. Contexto geológico regional. In: RODRIGUES, S. W. O et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Campina Grande - SB.25-Y-C-I. Estados da Paraíba e Pernambuco. Escala 1:100.000.** Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. Programa Geologia do Brasil - PGB. (no prelo).
- MEDEIROS, V. C. de. **Geologia e recursos minerais da Folha Sousa - SB.24-Z-A Escala 1:250.000:** Nota explicativa. Sistema de Informações Geográficas - SIG. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2008. 325 p. 1 CD ROM 1 mapa geológico. Programa de Geologia do Brasil - PGB. Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil

OLIVEIRA, R. G. *Arcabouço geofísico isostasia e causas do magmatismo cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)*. Natal, 2008. 411 p. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica)-Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal 2008.

SCHOBENHAUS C. et al. *Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil incluindo depósitos minerais escala 1: 2.500.000*. Brasília: DNPM, Brasília, 1984. 501p. il.

CONTEXTO GEOLÓGICO DOS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

V. A. Mendes¹, M. A. B. Lima¹, S. F. de Oliveira¹, A. L. C. da Cunha¹

¹Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-SUREG-RE - Serviço Geológico do Brasil
Av. Sul, 2291- Afogados, Recife-PE, 50770-011. e-mail: vanildo.mendes@cprm.gov.br

RESUMO

O presente trabalho aborda a potencialidade geológica do Estado do Rio Grande do Norte em termos de rochas ornamentais, discorre sobre o controle tectônico-estratigráfico das ocorrências estudadas, tece considerações sobre os principais litotipos atualmente extraídos e sobre a geodiversidade bastante favorável a existência de jazimentos de tipos pétreos considerados nobres e de reconhecida aceitação no mercado internacional de rochas para fins ornamentais.

O Estado do Rio Grande do Norte localiza-se na Região Nordeste do Brasil e apresenta cerca de 70% de sua superfície constituída por rochas cristalinas datadas do Pré-Cambriano. Tais rochas integram a denominada Província Borborema e se mostram em parte recobertas por sedimentos fanerozoicos da Província Costeira. A citada entidade tectônica é constituída por rochas metassedimentares e vulcânicas de idades meso a neoproterozoicas, encerrando fatias do embasamento de idade paleoproterozoica e remanescentes do Arqueano, configurando assim um cinturão orogênico meso-neoproterozoico, envolvendo microplacas e terrenos mais antigos.

A configuração dos terrenos que compõem o Rio Grande do Norte mostra uma ambiência geológica extremamente favorável à existência de excelentes jazimentos de rochas ornamentais. Dentre os tipos catalogados têm-se as rochas ditas movimentadas associadas aos terrenos gnáissico-migmatíticos de idade arqueano-paleoproterozoica. Associada a esta classe de rochas encontram-se as rochas metassedimentares do Grupo Seridó com idade Neoproterozoica e que apresentam aspecto dobrado, foliado e multicolorido, resultando em características de excelente estético-decorativo. Tais litotipos acham-se representados por calcissilicáticas, metaconglomerados, biotita xistos e quartzitos de cores variadas. Ocorrem também granitoides homogêneos relacionados ao plutonismo granítico sin, tardi a pós-tectônico da orogênese Brasileira. E ainda relacionados aos terrenos da Província Costeira, mais precisamente aos sedimentos cretácicos da Bacia Potiguar, ocorrem os calcários da Formação Jandaíra, explotados comercialmente sob o nome de "Crema Marfil".

Com base no exposto verifica-se que este estado apresenta uma geodiversidade extremamente favorável a existência de jazimentos pétreos com grande aceitação no mercado internacional, incluindo desde os tipos nobres aos materiais mais comuns, porém passíveis de emprego na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Rochas ornamentais; Controle geotectônico; Potencialidade geológica.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Norte localiza-se na Região Nordeste do Brasil, mais precisamente na sua porção oriental (figura 1), e apresenta cerca de 70% de sua superfície constituída por rochas cristalinas datadas do Pré-Cambriano. O presente trabalho versa sobre a potencialidade geológica do território potiguar em termos de rochas ornamentais, discorre sobre o controle tectônico-estratigráfico das ocorrências estudadas, tece considerações sobre os principais litotipos atualmente extraídos e sobre a geodiversidade extremamente favorável a existência de jazimentos de tipos pétreos considerados nobres e de reconhecida aceitação no exigente mercado internacional de rochas para fins ornamentais.



Figura 1 – Mapa de Localização do Estado do Rio Grande do Norte

CONTEXTO GEOTECTÔNICO DO TERRITÓRIO POTIGUAR

O estado do Rio Grande do Norte compreende em sua maior parte rochas cristalinas de idade Pré-Cambriana, pertencente à denominada Província Borborema, e que se mostram em parte recobertas por sedimentos fanerozoicos da Província Costeira, conforme definido por Almeida *et al.* (1977). A citada entidade tectônica é constituída por rochas metassedimentares e vulcânicas de idades meso a neoproterozoicas, encerrando fatias do embasamento de idade paleoproterozoica e remanescentes do Arqueano, configurando assim um cinturão orogênico meso-neoproterozoico, envolvendo micropalacas e terrenos mais antigos.

Sua evolução final culminou com a colagem brasileira datada de 600 Ma. e foi acompanhada de um importante plutonismo granítico de amplitude regional. Com base nos estudos atuais, levados a efeito por Angelim *et al.* (2006), o território estadual acha-se inserido na Subprovíncia Sententrional, encerrando os seguintes domínios: Domínio Jaguaribeano (DJ), Domínio Rio Piranhas – Seridó (DPS) e Domínio São José do Campestre (DSJ), conforme exposto na figura 2.

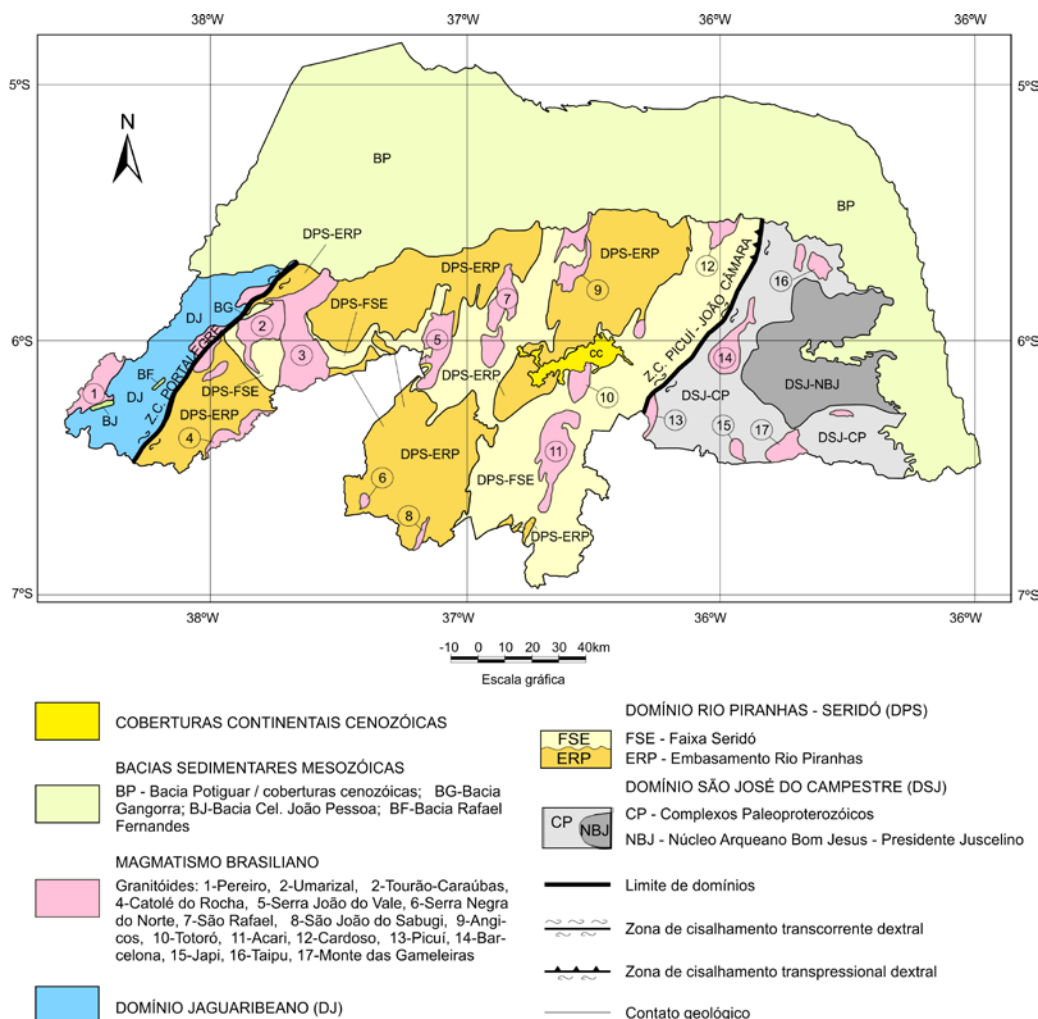


Figura 2 – Compartimentação tectônica do Estado do Rio Grande do Norte.

3. ROCHAS ORNAMENTAIS EM EXPLOTAÇÃO E O SEU CONTROLE GEOLÓGICO

Conforme o anteriormente exposto, o Rio Grande do Norte apresenta uma ambiência geológica extremamente favorável à existência de excelentes jazimentos de rochas ornamentais. Dentre os tipos catalogados têm-se as rochas ditas movimentadas associadas aos terrenos gnáissico-migmatíticos de idade arqueano-paleoproterozoica. Associada a esta classe de rochas encontram-se as rochas metassedimentares do Grupo Seridó com idade Neoproterozoica e que apresentam aspecto dobrado, foliado e multicolorido, resultando em características de excelente estético-decorativo. Tais litotipos acham-se representados por calcissilicáticas, metaconglomerados, biotita xistos e quartzitos de cores variadas. Ocorrem também granitoides homogêneos relacionados ao plutonismo granítico sin, tardi a pós-tectônico da orogênese Brasiliana. Relacionados aos terrenos da Província Costeira, mais precisamente aos sedimentos cretácicos da Bacia Potiguar, ocorrem os calcários da Formação Jandaíra, explotados comercialmente sob o nome de “Crema Marfil”.

3.1 Granitos Ornamentais Movimentados Relacionados aos Terrenos Antigos

Em relação aos terrenos antigos do embasamento cristalino de idade Arqueana/paleoproterozoico, cita-se o ortognaisse migmatizado com neossoma granítico de cor rosa-avermelhada e tonalidade suave. Afloram sob a forma de maciço, notadamente na localidade de Tapuio, no município de Lajes. Em termos estratigráficos pertence ao Complexo Caicó, que constitui o embasamento das rochas supracrustais meso a neoproterozoicas do Domínio Rio Piranhas-Seridó. O tipo em questão possui

grande aceitação no mercado internacional de blocos e de produtos processados, tendo sido até recentemente explorado pela COTO S/A com a quase totalidade da produção comercializada na forma de blocos para a Espanha.

3.2 Rochas Ornamentais Movimentadas Associadas aos Metassedimentos Neoproterozoicos

Relacionados aos metassedimentos do grupo Seridó da faixa de dobramentos homônima, têm-se rochas esverdeadas, multicoloridas e de aspecto heterogêneo. Trata-se de rochas calcissilicáticas, comumente associadas a mármore. Durante o transcorrer dos trabalhos de campo realizados pela CPRM foram cadastradas 03 ocorrências deste litotipo, sendo uma localizada no município de Almino Afonso e as demais em Messias Targino. Na ocorrência de Almino Afonso são extraídos blocos de rocha calssilicática de cor verde, textura equigranular fina e estrutura dobrada, formada por diopsídio, granada, calcita e em menor quantidade epidoto, e vesuvianita (foto 1). Nos outros depósitos o litotipo observado mostra estrutura dobrada caracterizada pela alternância de bandas de cor verde clara rica em calcita e leitos de coloração verde escura com predominância de diopsídio. Apresenta suaves dobramentos abertos e, em certos casos, dobras apertadas, inclinadas em estilo isoclinal. A rocha pode ser considerada um tipo movimentado, onde os diferentes tons compõem uma feição harmoniosa e com excelente aspecto estético decorativo. Em termos de aplicação pode ser empregada como elemento arquitetônico notadamente na decoração de ambientes e na confecção de móveis. Pode também ser utilizada como material de revestimento de pisos e de fachadas internas e externas de edificações públicas e privadas.



Foto 1 – Granito Guana Green

Também associado a Faixa de Dobramentos Seridó, mais precisamente aos metaconglomerados Parelhas da Formação Equador, ocorrem os granitos Verde Fashion e Verde Gaugan (foto 2). Estas rochas constituem metaconglomerados mono e polimictos de tonalidade esverdeada constituindo litotipos de rara beleza e de grande aceitação no exigente mercado internacional de produtos pétreos.



Foto 2 – Granito Verde Gaugan

No momento encontra-se em exploração as ocorrências de Boqueirão e do Sítio Minador, operadas respectivamente pela Ita Roca LTDA e Coto Mineração S/A. Tais rochas tem despertado grande interesse mercadológico podendo ser utilizadas tanto na confecção de móveis, quanto na produção de revestimentos a serem absorvidos pela indústria da construção civil.

Ainda associados a Faixa de Dobramentos Seridó tem-se os xistos da formação homônima, que constituem hoje o setor de melhor potencial prospectivo para a descoberta de novos jazimentos de rochas para fins ornamentais, pois encerram os cordieritas-granada-biotita xistos de alto grau metamórfico, atualmente exportados sobre a forma de blocos canteirados para países da Europa Ocidental com o nome comercial de “Granito Preto Matrix”.

No geral trata-se de uma rocha de aspecto heterogêneo, coloração cinza escura, com pontos esbranquiçados de composição quartzo-feldspática, ressaltando-se a presença de cristais milimétricos a centimétricos de granada, de nódulos de cordierita, além de porfiroblastos de estauroilita, andalusita e cristais milimétricos de sillimanita. O litofacies exibe em geral estrutura xistosa, textura lepidoblástica a porfiroclástica com granulação média a grossa. Tais feições em chapa polida imprimem a rocha um excelente aspecto estético decorativo, constituindo uma rocha ornamental do tipo movimentado com reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos. No momento a Mineração JU-Bordeaux tem explorado e exportado o litotipo em questão para países do mercado europeu com resultados bastante promissores.

Também associados a Faixa de Dobramentos Seridó, e sendo utilizados como rochas para fins ornamentais, têm-se os quartzitos da Formação Equador localizados na Serra das Queimadas, em Parelhas, e na Serra do Poção, em Ouro Branco. Estes litotipos apresentam-se nas tonalidades cinza – claro, creme, róseos e esverdeados. Atualmente são bastante empregados como rocha natural no revestimento de paredes e principalmente de pisos, em bordas de piscinas, playground e em áreas externas de edificações públicas e privadas.

3.3 Rochas Carbonáticas Pré–Cambrianas

Associados aos biotita gnaisses da Formação Jucurutu aparecem espessas e extensas lentes de mármore, que se apresentam em padrões de textura e estrutura variáveis e tonalidades de coloração branca a cinza-esbranquiçada, aflorantes principalmente nas regiões de São Rafael e de São José do Seridó. Têm-se ainda outras lentes de mármore cinza a cinza esbranquiçados, além de mármore de tonalidade rosa aflorantes em Messias Targino e em São João do Sabugi.

3.4 Granitos Ornamentais Homogêneos Aflorantes no Território Potiguar

Os tipos homogêneos constituem rochas plutônicas de composição variável, estrutura isotrópica a levemente orientada pelo fluxo magmático. Apresentam aspecto cromático e textural variável, incluindo tipos com cores verde, bege, cinza-esbranquiçado e rosa suave, conhecidos comercialmente como: Granito Verde Borborema, Granito Grampola, Granito Branco Elite e Granito Rosa Iracema.

O tipo Verde Borborema é encontrado no município de Messias Targino, tendo duas ocorrências situadas no Sítio Junco e outra na Zona Urbana da cidade. Tais exposições são constituídas por uma rocha de cor verde escura, não deformada, textura porfirítica e composição charnoquítica. Em geral mostra-se pouco fraturada, com baixa densidade de veios e xenólitos o que referenda boas condições para a lavra de blocos. Os cristais bem desenvolvidos de feldspato de cor verde escura proporcionam a rocha um excelente aspecto estético, podendo ser comparado ao conhecido “Verde Ubatuba” de reconhecida aceitação no mercado de produtos pétreos. A beleza do litotipo favorece sua negociação no mercado internacional de blocos, constituindo um tipo clássico entre as rochas ornamentais, com emprego na arquitetura e na confecção de padronizados para uso como revestimento de interiores e exteriores.

O granito tipo Grampola representa um outro facies da Suíte Umarizal e ocorre em pedreiras situadas nos sítios Junco e Várzea do Onça, ambas no município de Messias Targino. O granitoide apresenta granulação grossa, contendo feldspato de cor bege acinzentado que condiciona a coloração da rocha. Mostra-se destituído de foliação, com pouca incidência de fraturas, veios e enclaves. Aflora sob a forma de maciços e grandes matacões e apresenta excelentes condições de explotabilidade. No momento a produção de blocos é direcionada para a empresa Minérios de Bom jardim LTDA. que os transforma em chapas e padronizados, visando a sua negociação no mercado interno sob a forma de revestimento para a indústria da construção civil.

O leucogranito pertencente à Suíte Dona Inês, conhecido pela denominação comercial de Granito Branco Elite, apresenta granulação grossa, textura porfirítica, estrutura isotrópica e coloração cinza – esbranquiçada. Apresenta pouca incidência de fraturas, veios, pontos de oxidação e enclaves. Aflora no Sítio Coronel João Sá, município de Acari, sob a forma de maciço e matacões. Em geral apresenta excelentes condições para exploração de blocos. Trata-se de um tipo considerado comum dentre as rochas ornamentais, sendo, entretanto, passíveis de negociação no mercado interno de chapas e padronizados para emprego como material de revestimento pela indústria da construção civil. O regime de lavra é sazonal e a produção encaminhada para serrarias localizadas no Estado do Ceará, que, sob encomenda, o beneficia e comercializa para aplicação nas várias demandas da arquitetura e como material de revestimento. Ainda relacionados à mesma suíte plutônica, ocorrem pedreiras de leucogranito porfiríticos aflorantes próximos a São Rafael e dispostos sob a forma de maciços e matacões. Esta ocorrência encontra-se, no momento, paralisada devido a problemas societários.

Pertencente a Suíte Intrusiva Itaporanga ocorre um biotita granito grosso, porfirítico e de cor cinza – clara com fácies de tonalidade rosa devido ao maior teor em feldspato potássico. A rocha em questão aflora no Sítio Tourão, município de Patu, sob a forma de extensos maciços e matacões, tendo a empresa GRANOS S/A realizado a pesquisa geológica e os testes de lavra experimental em suas duas fácies. Constitui um material dito comum entre as rochas ornamentais e presta-se para a produção de chapas e padronizados para emprego como material de revestimento na construção civil.

Ainda relacionados aos ditos granitos homogêneos não foliados, tem-se os tipos multicoloridos provenientes das rochas pegmatóides aflorantes nas regiões de Acari, Parelhas e Equador. Trata-se de litotipos de textura grosseira, dominada por cristais de feldspatos que lhes concede a coloração dominante. Dentre os tipos em produção têm-se os depósitos de São Roque e Cascavel, localizados em Currais Novos, que constituem rochas de coloração avermelhada negociadas no mercado com o nome

comercial de Granito Vermelho Bordeaux (foto 3). No município de Parelhas afloram rochas pegmatíticas de tonalidade branca a cinza – esbranquiçada, com o nome comercial de Granito Branco Borborema (foto 4), que constitui tipo de rara beleza e de grande aceitação no mercado internacional de rochas.



Foto 3 – Granito vermelho Bordeaux



Foto 4 – Granito Star White

3.5 Rochas Ornamentais Relacionadas à Bacia Potiguar

No domínio das rochas sedimentares têm-se os calcários de Formação Jandaíra da Bacia Potiguar, oriundos principalmente das regiões de Apodi e Felipe Guerra, que se revelaram como bons produtos para fins ornamentais, por vezes assemelhando-se aos consagrados calcários travertinos italianos e aos mármore baianos aflorantes nas regiões de Ouro-lândia e Juazeiro. No momento este calcário encontra-se em fase de lavra pertencentes a empresas sediadas no Ceará que os negociam sob a denominação de “Crema Marfil”.

4. CONCLUSÕES

Com base no exposto verifica-se que o território do Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma geodiversidade extremamente favorável a existência de jazimentos de rochas ornamentais com grande aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, incluindo desde os tipos considerados nobres aos materiais ditos comuns, porém passíveis de emprego na indústria da construção civil na condição de revestimento horizontal e vertical de edificações.

No âmbito geotectônico este trabalho mostra a nítida correlação entre os eventos tectônicos atuantes e a formação de rochas ornamentais, exemplificados principalmente pelas rochas gnáissico-migmatíticas associados aos terrenos antigos, assim como pelos granitos pegmatóides relacionados à fase pós-tectônica da Orogênese Brasileira.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M de et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio Brasileiro de Geologia. 8, 1977, Campina Grande. ATAS do. Campina grande: SBG. Núcleo Nordeste, 1977.499p. il (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 6) 9.363-391.

Angelim, A. de A. et al. Geologia e Recursos Minerais do estado do Rio grande do Norte. Programa de geologia Básica. CPRM/SEDEC. Recife. 2006. P.119.

Mendes, V. A. Os Jazimentos de Rochas Ornamentais e sua relação com os Eventos tectônicos Atuantes no Território Brasileiro. III Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife. Nov. 2002. P. 93-98.

O NEOPROTEROZÓICO E O POTENCIAL DE EXPLORAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NO CONTEXTO DA FOLHA SANTA CRUZ (RN/PB), NORDESTE DO BRASIL

A. L. C. Cunha¹; V. A. Mendes¹; S. F. Oliveira¹

¹ CPRM – Serviço Geológico do Brasil, SUREG/RE
Av. Sul, 2291 – Afogados, Recife, PE, 50770-011
andre.cunha@cprm.gov.br
vanildo.mendes@cprm.gov.br
saulo.oliveira@cprm.gov.br

A Folha Santa Cruz acha-se delimitada pelas coordenadas 06°00' – 06° 30' S e 36°00' a 36° 30' W, situada no Estado do Rio Grande do Norte, com uma pequena porção no Estado da Paraíba. A exploração de rochas ornamentais vem se notabilizando na região devido ao excelente aspecto estético-decorativo dos litotipos extraídos, os quais constituem tipos de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, sendo exportados para os países da Europa Ocidental, sobretudo Itália. Num recente mapeamento realizado nesta folha foram reconhecidas 11(onze) áreas potenciais à exploração de rochas ornamentais, todas localizadas dentro do município de Currais Novos. As ocorrências encontradas foram condicionadas por fatores de cunho litoestratigráficos, podendo ser agrupados em 02(dois) conjuntos. O primeiro é constituído por rochas pegmatíticas ou granitos pegmatóides relacionados ao plutonismo granítico da fase final do Brasileiro (Neoproterozoico). Neste grupo temos os granitos tipo Vermelho Bourdon, que constituem um granito pegmatóide de coloração variando de rosa a avermelhada, pouco fraturado, disposto na direção nordeste-sudoeste, sendo composto essencialmente por megacristais de feldspato, quartzo, muscovita, biotita e por vezes a magnetita como acessório. Nesta região aflora ainda fácies de coloração branca a cinza esbranquiçada, às quais resultaram da variação de substituição do feldspato potássico pelo sódico, exemplificados pelo Granito Branco Fuji. O segundo conjunto está relacionado às rochas do Grupo Seridó de idade neoproterozoica, onde ocorre exploração dos quartzitos multicoloridos da Formação Equador, o qual constitui um muscovita quartzito lepidogranoblástico fino a médio de coloração verde claro, com direção NE e dos xistos da Formação Seridó, onde se extrai o litotipo conhecido como Preto Matrix, que constitui um cordierita-granada-biotita xisto de alto grau metamórfico (fáceis anfibolito), com direção NE. A rocha possui megacristais de cordierita deformados, bem como cristais de quartzo alongados, deformados e por vezes dobrados dentro de uma matriz fina de cor escura.

Palavras-chave: Rocha Ornamental, Folha Santa Cruz, Nordeste do Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está compreendida dentro do PLGB – Programa de Levantamento Geológico do Brasil, desenvolvido pela SGB/CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais apoiada pelo Ministério das Minas e Energia, o qual engloba mapeamento geológico sistemático na escala 1:100.000, levantamento geoquímico, levantamento geofísico e de recursos minerais da Folha Santa Cruz.

A Folha Santa Cruz encontra-se delimitada pelas coordenadas 06°00' – 06° 30' de latitude sul e 36°00' a 36° 30' de longitude oeste (Fig 1), no estado do Rio Grande do Norte e também em uma pequena porção no estado da Paraíba. A mesma situa-se em uma área com tradição mineira bem consolidada e com isso a região é conhecida regionalmente pela exploração de diversos minerais, seja por grandes empresas de mineração ou por garimpeiros, que por vez estão organizados sobre a forma de associações e/ou cooperativas.

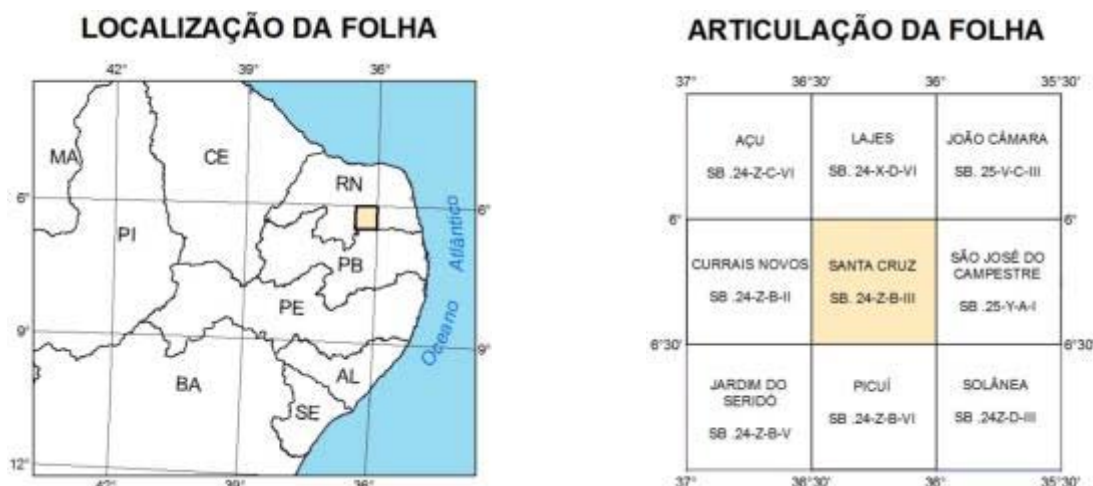


Figura 1 – Mapa de localização e articulação da Folha Santa Cruz

Obedecendo a metodologia da CPRM, depois da organização material (compilação bibliográfica, fotointerpretação e da preparação do mapa geológico preliminar) tiveram início as etapas de campo, que tinha como objetivo a consolidação das informações e estudar a forma e a disposição espacial das ocorrências das rochas que poderiam ser usadas com fins ornamentais. As principais áreas de concentração são os municípios de: Currais Novos – RN, Cerro Corá – RN, São Tomé – RN, Lajes Pintadas – RN, Frei Martinho – PB e Picuí – PB, as quais encerram litotipos de excelente aspecto estético decorativo.

O objetivo deste trabalho é expor o excelente aspecto estético-decorativo dos litotipos extraídos, os quais constituem tipos de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, sendo exportados para os países da Europa Ocidental, sobretudo Itália.

2. ROCHAS ORNAMENTAIS DA FOLHA SANTA CRUZ

As rochas em epigrafe, em conseqüências da multiplicidade de eventos tectônicos-termiais experimentados, apresentam uma geodiversidade extremamente favorável a existência de excelentes jazimentos de produtos pétreos para fins ornamentais, notadamente de tipos exóticos de reconhecida aceitação pelo exigente mercado internacional de rochas ornamentais. Com base no arcabouço geológico tectônico apresentado pela folha em estudo (Figura 2), verifica-se que as ocorrências de rochas ornamentais existentes associam-se ao evento Brasiliano, mais precisamente aos micaxistos e quartzitos do Grupo Seridó e ao plutonismo graníticos pós –tectônico representado pelos pegmatitos e granitos pegmatoides relacionados a fase pós –tectônico do evento em questão.

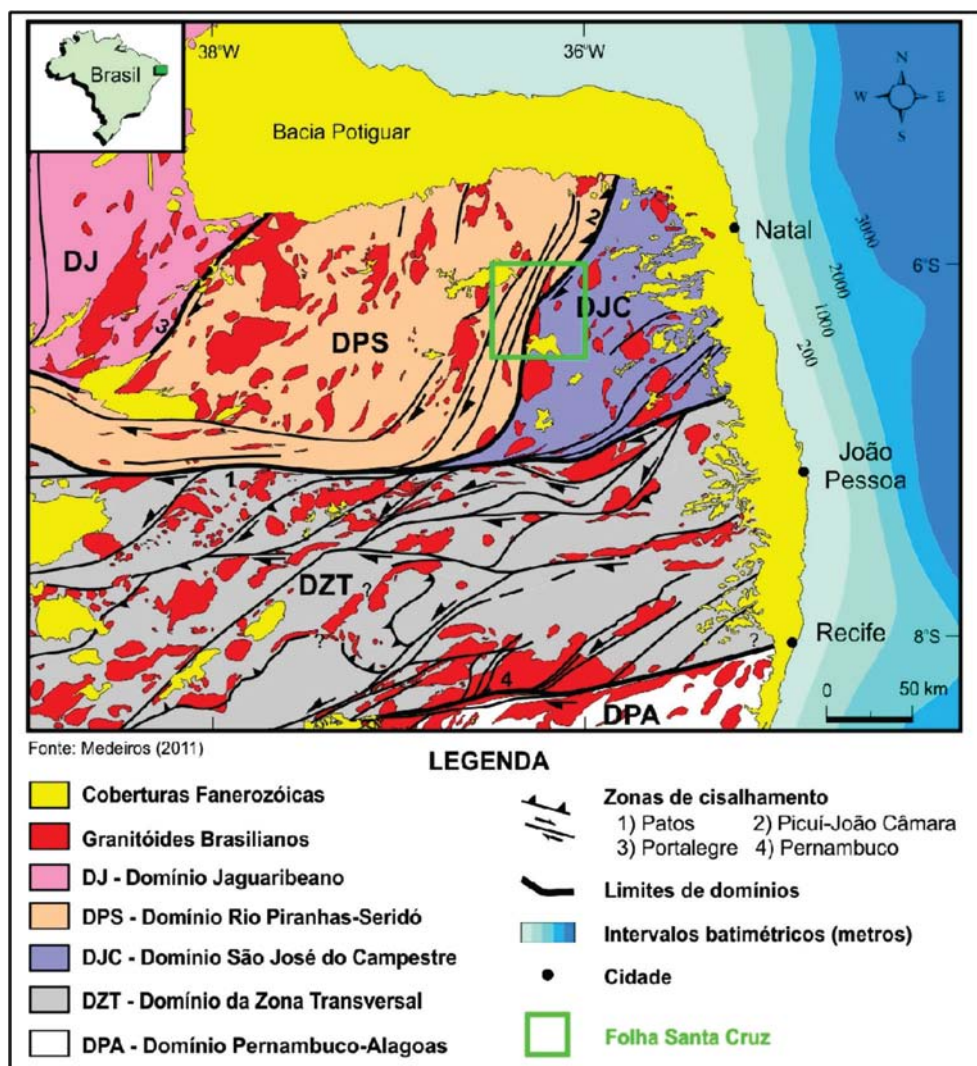


Figura 1 – Compartimentação tectônica da porção centro-norte da Província Borborema, Medeiros (2011), com a localização da Folha Santa Cruz.

A exploração desse bem mineral veio demonstrando um ganho de força, impulsionada pelo crescimento das atividades na área da construção civil, o que juntamente com o excelente aspecto estético-decorativo dos litotipos extraídos na região, os quais constituem tipos de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, sendo exportados para os países da Europa Ocidental, sobretudo Itália.

2.1 Tipologias das Rochas Ornamentais

Dentro dos limites da Folha Santa Cruz, foram reconhecidas 11(onze) ocorrências de litotipos que são ou foram explorados como rochas ornamentais. Desse total 10 (dez) estão localizadas dentro do município de Currais Novos e apenas 01 (uma) esta plotada no município de São Tomé.

As rochas ornamentais detectadas acham-se condicionadas por fatores de cunho litoestratigráficos, podendo ser agrupados em 02(dois) conjuntos. O primeiro é composto pelas rochas pegmatíticas ou granitos pegmatóides relacionados ao plutonismo granítico da fase final do Brasiliano (cambriano) e o segundo conjunto de ocorrências acha-se relacionado aos metassedimentos do Grupo Seridó (neoproterozóico).

2.2.1 Corpos e Diques Pegmatíticos e Granitos Pegmatóides

Os pegmatitos que são explorados como rochas ornamentais, por vezes mostram-se em relevo positivo e fazem parte dos inúmeros diques e corpos de pegmatitos ou granitos pegmatóides que ocorrem na região do Seridó, ao longo da Província Pegmatítica Borborema-Seridó (Silva & Dantas, 1984). Na Folha Santa Cruz os mesmos concentram-se ao longo de uma faixa nordeste sudoeste, mas ocorrem dispersos por toda folha.

Os primeiros litotipos passíveis de emprego como rocha ornamental, afloram nas localidades de: Olho D'Água, Sítio Trapiá, Serrinha, Pé de Serra, São Roque/Cascavel e Sítio Gavião; mostra-se constituído por rochas pegmatíticas ou granitos pegmatóides relacionados ao plutonismo granítico da fase final do Brasileiro. Que são descrito comercialmente como um granito tipo Vermelho Bourdon (Foto. 1 e Foto. 1A), que compreende os granito pegmatóide e pegmatitos homogêneos de coloração rosa a avermelhada, pouco fraturado, disposto preferencialmente na direção NE-SW, sendo composto essencialmente por megacristais de feldspato, quartzo, muscovita, biotita, por vezes a magnetita, turmalina e berilo ocorrem como acessório. Nesta região aflora ainda fácies de coloração branca a cinza esbranquiçada, as quais resultaram da variação de composição do feldspato potássico pelo calcosódico, que comercialmente recebe onome de Granito Branco Fuji (Foto. 2 e Foto. 2A).



Foto 1 – Vista panorâmica da pedreira de rocha ornamental (pegmatito) na localidade de Sítio Trapiá (Currais Novos/RN).



Foto 1A – Detalhes de um bloco de rocha ornamental (pegmatito) na localidade do Sítio Trapiá (Currais Novos/RN).



Foto 2 – Vista panorâmica da pedreira de rocha ornamental em pegmatito na localidade de Sítio Trapiá (Currais Novos/RN).



Foto 2A – Detalhes de um bloco de pegmatito de cor branca a cinza esbranquiçada de granulação grossa na localidade de Sítio Trapiá (Currais Novos/RN).

2.2.2 Rochas Metassedimentares (Grupo Seridó)

Os estudos de Jardim de Sá & Salim (1980) e Jardim de Sá (1984) defendem que o Grupo Seridó apresenta-se subdividido em paragnaisses basais, com intercalações de mármore, calcissilicáticas, micaxistos, metavulcânicas e formações ferríferas (Formação Jucurutu), metaconglomerados e quartzitos (Formação Equador) em posição intermediária e no topo micaxistos feldspáticos e aluminosos, apresentando feições sedimentares com características turbidíticas, possuindo subordinadamente intercalações de metavulcânicas, mármore e calcissilicáticas (Formação Seridó).

As ocorrências relacionadas aos metassedimentos do Grupo Seridó (neoproterozóica), estão dispostas da seguinte forma: na localidade de Catunda ocorre à única exploração como rocha ornamental, dos quartzitos multicoloridos da Formação Equador (Foto. 3). Que podem ser descrito como: muscovita quartzito lépidogranoblástico fino a médio pouco fraturado de coloração verde claro a cinza (Figura 3A), com direção N/NE.

As demais ocorrências ficam nas localidades de: Alto da Jurema e Maniçoba de Baixo e estão relacionadas aos micaxistos da Formação Seridó, onde se extrai o litotipo conhecido como Preto Matrix (Foto 4), o qual constitui um cordierita-granada-biotita xisto de alto grau metamórfico (fáceis anfibolito), com direção NE. A rocha possui megacristais de cordierita deformados (Foto 4A), bem como cristais de quartzos alongados, deformados e por vezes dobrados dentro de uma matriz fina de cor escura.



Foto 3 – Vista geral da mina (pedreira) de rocha ornamental em quartzito da Formação Equador na localidade de Catunda (Currais Novos/RN).



Foto 3A – Detalhe do bloco de quartzitos da Formação Equador de coloração cinza e granulação fina na localidade de Catunda (Currais Novos/RN).



Foto 4 – Vista geral da mina (pedreira) de rocha ornamental no cordierita-granada-biotita xisto na localidade de Alto da Jurema (Currais Novos/RN).



Foto 4A – Detalhe do bloco de no cordierita-granada-biotita xisto na localidade de Alto da Jurema (Currais Novos/RN).

2. REFERÊNCIAS

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Brasília, 1994. 803p. 2 mapas. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F. **Geologia da região Seridó: reavaliação de dados**. In: **Simpósio de Geologia do Nordeste, 11, 1984, Natal. Atas do...** Natal: SBG. Núcleo Nordeste, 1984. 473p. il. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 9) p.278-296.

JARDIM DE SÁ, E. F.; SALIM, J. Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB). **Miner. Metal.**, v.80, n.421, p.16-28, 1980.

MEDEIROS, V. C. de. Contexto geológico regional. In: RODRIGUES, S. W. O et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Campina Grande - SB.25-Y-C-I. Estados da Paraíba e Pernambuco. Escala 1:100.000**. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. Programa Geologia do Brasil - PGB. (no prelo).

SILVA, M. R. R. da; DANTAS, J. R. A. A província pegmatítica da Borborema - Seridó nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. In: BRASIL DNPM. **Principais depósitos minerais do Nordeste Oriental**. Recife, 1984. 437p. il. (Brasil DNPM. Geologia, 24: Seção Geologia Econômica, 4). p. 233-304.

LAVRA

APRIMORAMENTO DAS TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE QUARTZITO DO SERIDÓ PARAIBANO

F.W.H. Vidal¹, R.A. Pereira², N.F. Castro³, V.A. Mendes⁴ e J.C.A. Costa⁵

^{1,3} Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: fhollanda@cetem.gov.br; ncastro@cetem.gov.br

² P&W Consultoria em Mineração e Meio Ambiente, R.Giló Guedes, Posto Viaduto, S/N, S.5, Santo Antônio – 58406-000 Campina Grande – PB E-mail: ranieri.engminas@gmail.com

⁴ Av; Sul, 2291, Afogados, 50770-011 Recife – PE. E-mail: vanildo.mendes@cprm.gov.br

⁵ Unid. Acad. de Mineração e Geologia, Univ. Fed. de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58429-900 Campina Grande – PB. E-mail: jcesar_acosta@yahoo.com.br

RESUMO

A área de estudo é localizada no município de Várzea, no estado da Paraíba, no nordeste brasileiro, onde é extraído quartzito ornamental, há décadas, com técnicas artesanais. As técnicas adotadas no passado para essa extração causaram danos significativos ao meio ambiente e depredação das reservas minerais, como também causaram danos relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos nessas atividades. Para superar esses efeitos prejudiciais, foi desenvolvido um projeto de melhorias, incluindo tanto a extração quanto o beneficiamento do quartzito. Esta publicação contempla o aprimoramento dos métodos e tecnologia de extração. Com o intuito de identificar as áreas promissoras para a extração de quartzito, e para orientar a operação de pedreiras ativas, um detalhado mapa geológico na escala de 1:2.500 foi elaborado. O mapa contém as seguintes características: unidades litológicas, contatos, dobras, foliação e falhas. Mediante intenso trabalho in situ foi possível identificar diversas deficiências nas práticas atuais de extração. Algumas das mais importantes são: acúmulo de água no fundo das trincheiras, causada pela drenagem precária; o uso descontrolado de explosivos, causando danos ao quartzito e, conseqüentemente, gerando grandes volumes de resíduos de rocha; remoção parcial do solo e capeamento no topo da rocha, causando contaminação do quartzito e perda de reservas; e a presença de encostas íngremes, com pendentes negativas, apontando na direção do local de trabalho, representando um grande risco para os trabalhadores. As principais melhorias consistiram em: descobrir completamente a rocha, evitando a contaminação do quartzito durante a etapa de extração; drenagem eficiente das trincheiras, assim evitando o acúmulo de água no fundo das mesmas; adoção de taludes com inclinações menores do que 90°, diminuindo substancialmente o risco de acidentes; e o uso de uma máquina de corte com serra diamantada especialmente concebida para esse tipo de jazida, a fim de reduzir a utilização de explosivos usados no processo de extração. Além das melhorias técnicas acima mencionadas, os aspectos sócio-econômicos da extração de quartzito também foram abordados no projeto. Dentre essas melhorias, as principais são: treinamento dos mineiros sobre segurança do trabalho, incluindo a preparação e distribuição de uma cartilha de segurança; organização em cooperativas e associações produtoras; e minicursos sobre conservação ambiental e boas práticas de extração. Ao final da pesquisa, recomendações foram feitas para a implementação das principais questões na prática rotineira nos locais de extração de quartzito, visando o aprimoramento das técnicas, incluindo suporte dos órgãos governamentais e das futuras associações e cooperativas.

Palavras Chave: Pesquisa Mineral; Pedreira; Quartzito; Lavra

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo apresentam-se as melhorias implantadas nas pedreiras de quartzito da região de Várzea, Paraíba, no desenvolvimento do projeto "Tecnologia avançada para a produção Quartzitos", objetivo principal desse projeto de apoio técnico aos pequenos produtores da cooperativa local (COOPVARZEA). As atividades realizadas, visando melhorar a competitividade dos produtores e reduzir os impactos ambientais e na saúde e segurança no trabalho, consistiram no desenvolvimento de pesquisas geológicas, levantamento geológico para o planejamento de pedreiras, e preparação de pedreiras-piloto com a tecnologia inovadora desenvolvida especificamente para este projeto.

O município de Várzea (Figura 1) possui uma área de 147 km² e está localizado no "Polígono das Secas" na Região Nordeste do Brasil. O município é limitado a norte pelos municípios de Ouro Branco e São José do Sabugi, e a leste pelos municípios de Ouro Branco novamente e também de Santa Luzia. Sua fronteira sul se divide entre os municípios de Santa Luzia e São Mamede e sua fronteira ocidental enfrenta os municípios de São Mamede e São João do Sabugi.

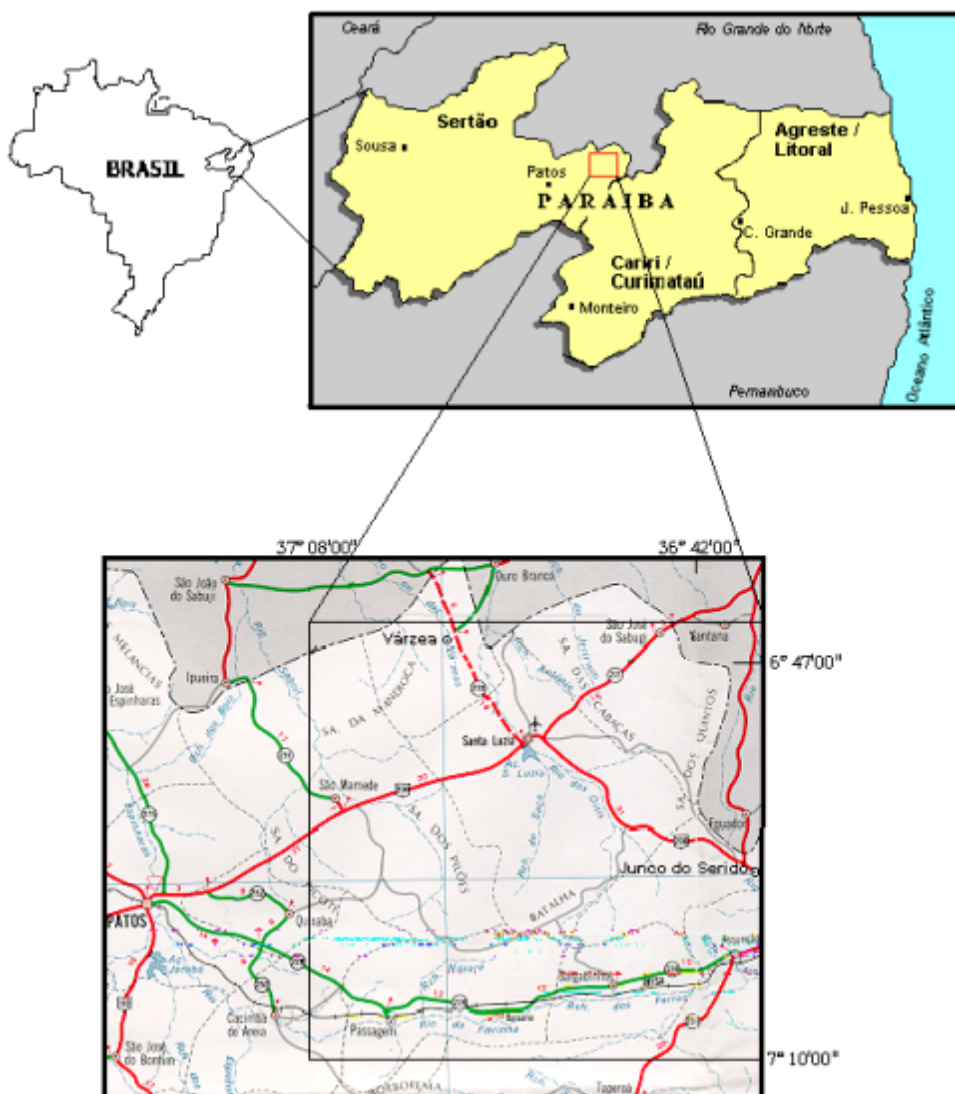


Figura 1 – Localização do município de Várzea (PB). Fonte: CDRM

Os principais depósitos de quartzitos do estado da Paraíba estão nos municípios de Várzea e Junco do Seridó e ocorrem associados a rochas pré-cambrianas do Proterozóico Superior, na Formação Equador do Grupo Seridó. Esses quartzitos são comercializados em forma de placas brutas, sem beneficiamento

superficial, quadradas ou retangulares, para utilização em diversos setores da indústria da construção. Apresentam coloração variada, textura granuloblástica, com tamanho de grão de fino a médio e foliação bem desenvolvida. Resultantes do metamorfismo de arenitos, o quartzo é seu principal componente (80%), acompanhado de outros minerais como silicatos (turmalina) e micas (biotita, sericita, e muscovita).

Existem relatos de que há mais de vinte anos se iniciaram os trabalhos de extração por métodos manuais e tais técnicas perduram até os dias de hoje. Nos últimos anos, verificou-se um aumento considerável na escala de produções nesses municípios devido ao aumento de consumo, tanto das placas de quartzito, com inserção em novos mercados, quanto de novos produtos (principalmente mosaicos), gerados por novas técnicas de beneficiamento, que tiveram grande aceitação no mercado.

As placas de quartzito são extraídas nas pedreiras com ferramentas manuais (talhadeiras e marretas), prévio desmonte com explosivos. A continuação são recortadas em pequenas serrarias e comercializadas em tamanhos padronizados. Nos últimos anos, e impulsionado pelo projeto APL, vem se produzindo também mosaicos, mediante corte com serras de diamante e talhadeiras automáticas e posterior montagem em matrizes de silicone (moldes), em unidades de processamento de médio a grande porte. O principal uso desses quartzitos é como rochade revestimento externo e interno e calçamentos, mas seu uso em mosaicos ornamentais também está se estendendo e possui grande valor agregado.

Por outro lado, tantos anos de mineração predatória, sem os necessários estudos técnico-econômicos, têm gerado diversos impactos ambientais e resíduos que prejudicam o desenvolvimento sustentável na região.

2. GEOLOGIA

Considerando a geologia regional, a área está inserida na província Borborema, de idade pré-cambriana, e o quartzito faz parte da cobertura sedimentar do Grupo Seridó. Essa região passou por diversas fases de deformação tectônica, resultando em dobramentos, com falhas e fraturas das rochas existentes, incluindo o quartzito (Paraíba, 1982; Jardim de Sá *et al.*, 1992).

Os quartzitos ocorrem na Formação Equador, uma unidade geológica medindo cerca de 400 m de largura e mais de 1 km de comprimento na direção NE-SW. O afloramento tem um capeamento, cobertura de solo residual pequena, com uma espessura média de 0,50 m. A foliação aparece subvertical, em ângulos entre 70 e 90 graus. A espessura das camadas de quartzito pode variar de 1,8-3,5 cm. Há uma zona com uma grande quantidade de fraturas, provavelmente devido a um grande falhamento, onde foi verificada a existência de fraturas paralelas à foliação, agudas e intensas, espaçadas de 3 a 4 cm. Embora foliados, os quartzitos são altamente resistentes à ruptura e ao impacto, o que garante a sua durabilidade.

2.1 Métodos de extração

O método de extração utilizado é a céu aberto e as pedreiras ocupam áreas longas e estreitas, pois se desenvolvem seguindo o corpo de quartzito (Figura 2). A remoção da cobertura e material rochoso muito alterado é realizada manualmente pelos produtores, e, em seguida, com a ajuda de explosivos, realizam o pré-corte da rocha para facilitar o avanço frontal da pedreira (Souza *et al.*, 2001; Vidal; Castro, 2012). A perfuração de rocha é realizada a seco, tornando a operação insalubre pela grande presença de silicatos. O carregamento é feito com explosivo (nitron) e cordel detonante. Os equipamentos utilizados são martelos pneumáticos e não existe planejamento para a malha de perfuração, como também não existem cálculos para o plano de fogo, sendo realizado de acordo à experiência dos garimpeiros.



Figura 2- Sequência de Pedreiras de Quartzito. Fonte: CETEM/MCTI

Esta prática geralmente deixa taludes com inclinação negativa, a partir dos quais são extraídas manualmente com picos e marretas, grandes lajes irregulares de quartzito. Desta forma, os mineiros buscam economizar explosivos e tornar fácil a separação das placas de quartzito por colapso. No entanto, o método gera grandes quantidades de resíduos que se acumulam em frentes de lavra das pedreiras, dificultando seu desenvolvimento e deixando os locais de trabalho com alto risco de acidentes (Figura 3 e 4).

2.1.1 Pedreira piloto

A fim de reorganizar e automatizar a extração, foi realizado um levantamento geológico e topográfico detalhado, permitindo a delimitação da área de exploração, o cálculo de reservas e a seleção de direção preferencial do avanço das frentes. O corpo de minério explorado é uma unidade geológica de aproximadamente 400 m de largura e mais de 1 km de extensão em direção SW - NE. A quantidade de pedreiras existentes gira em torno de 15. Essas cavas foram abertas no topo da unidade e seu avanço no sentido da base gera taludes com inclinação negativa, prejudicando tanto a operação nas frentes, quanto o melhor aproveitamento do corpo. Com base nesta pesquisa, foi preparada uma nova frente com intuito de servir como pedreira piloto. Foi aberta no ponto do extremo NE da área cooperativa e irá tornar-se um exemplo de boas práticas operacionais para conseguir a melhor recuperação do depósito, a partir da parte inferior do corpo mineralizado (SE) para o topo, onde se encontra a rocha encaixante (NW).

No projeto-piloto desenvolvido, depois da operação de decapeamento da área, que foi removida usando equipamentos de terraplenagem, como tratores e escavadeiras, o material residual retirado é depositado em pilhas para ser usado para preencher as cavas das pedreiras quando as operações forem cessadas.



Figura 3 - Frente da Pedreira com Talude Negativo. Fonte: CDRM

Cada frente de lavra terá três bancos de pelo menos 2 metros de largura para facilitar o acesso de pessoal de perfuração e detonação e as operações de carregamento e transporte (Pereira, 2011). Para as operações de perfuração serão usados 4 martelos pneumáticos com um compressor hidráulico de 63 litros por segundo de vazão nominal. Os furos terão 1" de diâmetro e 3,42 m de profundidade, com 0,84 m de espaçamento de perfuração e 0,65 m de afastamento. O tampão será constituído de resíduos de quartzito com 0,65 m, cordão detonante e nitrato de amônio, quando se fizer necessário.

Além das melhorias no planejamento do avanço das frentes de lavra, várias maneiras de automatizar a extração de quartzito foram estudadas com o fim de melhorar a produtividade e reduzir o impacto ambiental. Uma máquina de corte, semelhante à utilizada em pedreiras de outros materiais foliados, como ardósia em Minas Gerais ou calcário no Estado do Ceará, foi considerada a melhor solução. Vários testes e adaptações foram realizados com uma máquina (serra de corte) com disco diamantado da marca Tyrolit sem sucesso devido à dureza do quartzito que torna difícil o corte manual e à posição das camadas (quase vertical).

Assim, com a ajuda de um empresário local, o Engenheiro João Bosco, uma máquina de serra com disco diamantado e um sistema de fixação foi construída e testada em uma frente já aberta da cooperativa (Figura 5). A máquina é constituída por: uma serra de disco diamantado, com um motor elétrico principal de 5 CV (trifásico) e um motor secundário elétrico 1 CV (monofásico), ambos de 1200 rpm; um redutor de velocidade para acionar de acordo com o desgaste do disco; e uma armação de tubos de aço carbono com deslizadores reguláveis, para posicionar e fixar a máquina (Figura 6). É arrefecida a água, necessitando de 15 l/h, podendo ser reaproveitada por meio de um mecanismo de aparo.



Figura 4 - Lajes irregulares extraídas das pedreiras. Fonte: CETEM/MCTI

A energia necessária para seu funcionamento é fornecida por um gerador a diesel (móvel) de 10 kVA de capacidade (Figura 7). Pode utilizar diâmetros de discos diferentes e, para um com diâmetro de 250 mm consegue-se, mediante ajustes necessários, um corte com profundidade de até 120 mm, dependendo da espessura da camada a ser cortada.

Esta máquina foi testada com sucesso em cortes verticais em linha reta, com alta velocidade, provando que sua utilização pode aumentar a produtividade e reduzir drasticamente os resíduos de quartzito produzidos com extração manual.

Estima-se uma produção de, em torno de, 90 metros por hora de corte com a utilização dessa máquina nas frentes de lavra de Várzea.

No entanto a máquina ainda necessita de duas melhorias importantes, a fim de ser útil para os pequenos mineradores: um mecanismo de rotação para realizar também cortes horizontais e um sistema de fixação mais leve e mais flexível que o do protótipo que é pesado e difícil de posicionar na face do banco.

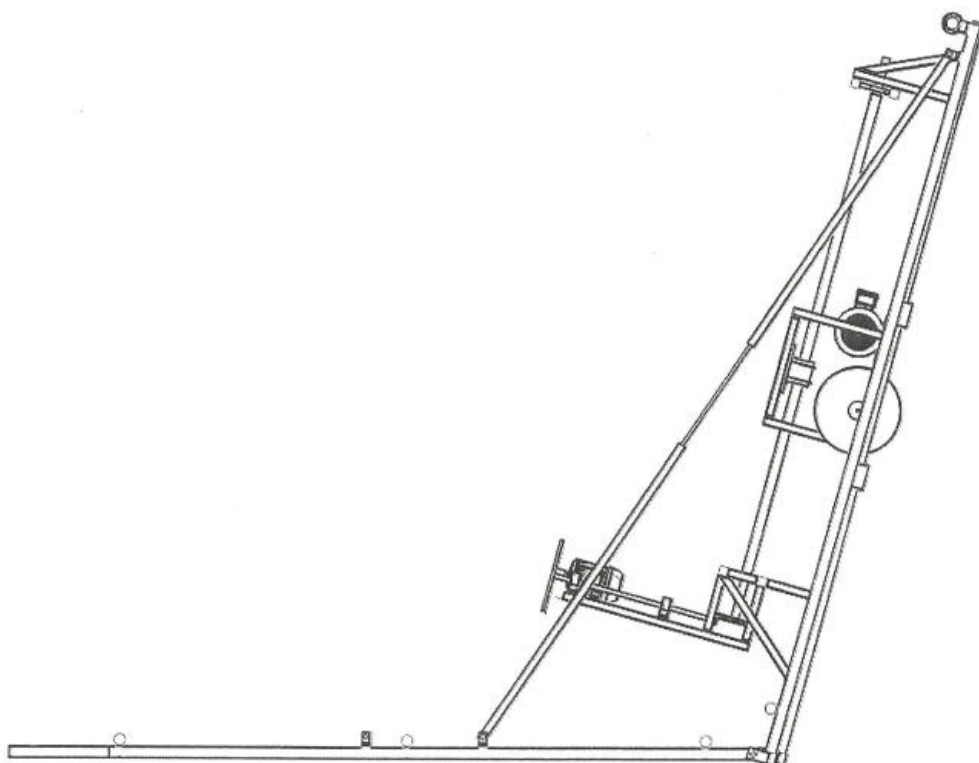


Figura 5- Corte do Protótipo. Fonte: João Bosco

3. CARREGAMENTO E TRANSPORTE

As operações de carregamento e transporte realizadas na exploração de quartzito são, provavelmente, o mais primitivas possível. Todo o processo é realizado manualmente, com o auxílio de carroças de mão, e em algumas frentes também com guinchos com sistema de carretel, o que expõe os trabalhadores a riscos de acidentes (Figura 8).

Para modificar as condições de trabalho, é fundamental a abertura de rampas de acesso com ângulos suaves, de até 15 graus, que permitam o tráfego e operação de equipamentos mecanizados, tais como: empilhadeiras para transportar a carga em caminhões, com a ajuda de pallets de madeira e escavadeiras hidráulicas para limpar as frentes da pedreira e realizar a abertura de novas frentes.

Além de melhorar a produtividade e reduzir os impactos ambientais e os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores das pedreiras, a efetiva implementação das melhorias sugeridas, permitiria também a lavra seletiva das distintas variedades de quartzito existentes (em cor e tonalidade), em função das necessidades do mercado, mediante o trabalho simultâneo em várias cavas planejadas (Pereira, 2011).



Figura 6 - Máquina de corte desenvolvida, com sistema de fixação. Fonte: CETEM / MCTI

4. GESTÃO DE RESÍDUOS

Como resultado de anos de extração rudimentar das pedreiras, enormes quantidades de resíduo de quartzito foram depositadas sobre os lados, ou mesmo dentro das frentes (Figura 2 e 3). Uma vez que o desenvolvimento das pedreiras aqui proposto é a partir da base do corpo de quartzito (a partir do lado oposto do qual eles executam agora), sugeriu-se suspender a operação nestes locais de extração até as novas frentes alcançá-los.

Enquanto isso, espera-se recuperar a maior parte desses resíduos acumulados para outros usos, já que, no âmbito do projeto, alguns usos industriais para resíduos de quartzito também foram desenvolvidos e os produtos estão sendo comercializados. Os primeiros foram os mosaicos, cuja produção foi possível pela fabricação e cessão à cooperativa de equipamentos de beneficiamento para a produção de mosaicos e, depois, foi construída, em parceria com o Engenheiro João Bosco, uma usina de beneficiamento piloto que produz agregados e argamassa com esses resíduos. Outros estudos estão em andamento, tais como a utilização do resíduo na fabricação de vidros e cerâmica, mas ainda não foram testados industrialmente.

Em relação aos resíduos que irão ser gerados pelas novas pedreiras, serão depositados em pilhas de resíduos, considerados como subprodutos para outras aplicações, com o aterro adequado e estruturas de drenagem cuja localização foi projetada (Vidal *et al.*, 2012).



Figura 7 – Gerador utilizado para fornecer energia à máquina. Fonte: Ranieri Pereira

5. SAÚDE E SEGURANÇA

As condições de saúde e segurança devem ser melhoradas com as novas práticas extrativas propostas, especialmente no que se refere ao risco de acidentes. No entanto, muitas outras recomendações, feitas também no âmbito do projeto, devem ser seguidas, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), e um plano de sinalização de segurança adequado em torno das pedreiras e unidades de beneficiamento.

A legislação brasileira exige também a implantação de um Comitê de Saúde e Segurança, dentro de cada organização, e uma de Controle Médico e Saúde e Programa de Segurança, a fim de cumprir todas as normas já existentes. Durante o desenvolvimento deste projeto foram realizadas atividades de treinamento edistribuída uma cartilha de segurança e saúde para os trabalhadores destas pequenas pedreiras, mas para atender a legislação e realmente proteger os trabalhadores, ainda há muito trabalho de treinamento a ser feito dentro da cooperativa.



Figura 8 - Guincho utilizado para erguer as placas da base da cava a superfície. Fonte: CETEM/MCTI

6. CONCLUSÕES

O projeto "Tecnologia avançada para a produção Quartzitos", financiado pela FINEP e coordenado pelo CETEM/MCTI, conseguiu atingir os objetivos de melhorar as operações de mineração e beneficiamento do quartzito de Várzea, Paraíba. Especificamente na parte de lavra, que este trabalho trata, as atividades de realizar a topografia, o mapeamento geológico local e detalhado, o planejamento de mina, preparar uma pedreira piloto e desenvolver equipamentos de mineração para mecanizar a extração foram todas desenvolvidas. Entre elas, destaca-se o desenvolvimento de uma máquina de corte, com disco de diamante, especialmente concebida para as frentes das pedreiras de Várzea. No entanto, este foi apenas um primeiro trabalho que recebeu a colaboração de várias instituições, com o objetivo de assessorar tecnicamente os pequenos produtores de quartzito na cultura de mineração sustentável. Por isso, muitos estudos ainda devem ser prosseguidos, tais como novos testes da máquina de corte desenvolvida em escala piloto e novas pesquisas para melhorar esta técnica, ou estudando alternativas mais adequadas. Também será necessário um esforço por parte da cooperativa e do governo local para implementar as recomendações deste trabalho, com investimentos em infraestrutura básica, em capacitação e na utilização de ferramentas de gestão simples e adequadas para os pequenos mineradores.

REFERÊNCIAS

- JARDIM DE SÁ, E.E.; MACEDO, M.H.F.; FUCH, R. A. KAWASHITA, K. (1992). Terrenos Proterozóicos na província Borborema e margem norte do Cráton São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 22, 472-480.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais. Mapa Geológico do estado da Paraíba: Texto explicativo. S.L. 1982.
- PEREIRA, R. A. ,“Acompanhamento e Execução de Atividades de Pesquisa Mineral, Extração e Beneficiamento do Quartzito de Várzea-PB.” Monografia – UFCG, 2011.
- SOUSA, A. P. F. et. al. Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzitos no estado da Paraíba. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador-BA. 2001.
- VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N.F. "Relatório Técnico de Pesquisa Mineral e Lavra". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0008-00-12, CETEM/MCTI, 2012.
- VIDAL, F. W. H.; CORREIA, J. C. G. ; CASTRO, N. F. "Relatório Técnico de Atividades Realizadas no Período de Junho de 2009 a Março de 2012". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0009-00-12, CETEM/MCTI, 2012.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A EXTRAÇÃO DE GRANITO PARA BRITA NO SÍTIO BARRA DO SABUGÍ, MUNICÍPIO DE SÃO FERNANDO/RN

M.F.Meyer¹, M.M.Souza², E.N.Santos³, L.C.M.Dantas⁴, N.M.G.Pinto⁵

¹ **Mauro Froes Meyer** - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015 Fones: (084) 4005-2636 e (084) 9926-5323 E-mail: mf.meyer@terra.com.br; mf.meyer@hotmail.com, mauro.meyer@cefetrn.br

² Marcondes Mendes de Souza -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). Telefone: (084) 9953-4795 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço) . E – mail: mmsouza2003@yahoo.com.br

³ Edson Neves dos Santos -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). Telefone:(091) 8123-0867 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço) . E – mail: edson_san2003@yahoo.com.br

⁴ Luiz Carlos Maia Dantas – Geólogo consultor – Rua Manoel Barata, 394 – Bairro : Ribeira – Natal – RN – CEP: 59060-369 Telefone: (084) 3251-2551, E – mail: luizcmd@yahoo.com.br

⁵ Nayra Maria Gomes Magno Pinto – Aluna do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: nayramagno@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar através de estudos a viabilidade ambiental, técnica e econômica de uma área em São Fernando - RN para extração de granito para construção civil. Os resultados parciais mostram que a atividade é altamente viável do ponto de vista ambiental, técnico e econômico e trará benefícios na geração de emprego e renda, assim como o fornecimento de insumos para construção civil. A exploração de alguma forma vem provocar alterações no meio ambiente, entretanto, as medidas de controle ambiental buscarão mitigar os impactos decorrentes da atividade. Ao mesmo tempo, apresenta-se como desafio para o paradigma da sustentabilidade, entendido como um processo de mudança, no qual o uso dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a ação institucional, tudo deve aumentar o potencial de atender às necessidades humanas tanto hoje como amanhã, garantindo assim, uma equidade nas relações sociais, econômicas e ambientais. A extração de granito é uma típica atividade potencialmente poluidora e sujeita, entre outras ferramentas da gestão ambiental pública, ao licenciamento ambiental e da lavra para extração. Toda a atividade de extração do granito bem como a instalação do britador, desmonte e produção de brita, serão executadas pelo 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército – Batalhão Seridó, localizado em Caicó/RN. Nesse sentido fazem-se necessários estudos de viabilidade de ordem técnica, econômica e ambiental.

Palavras - chave: estudo ambiental, granitos e mineração.

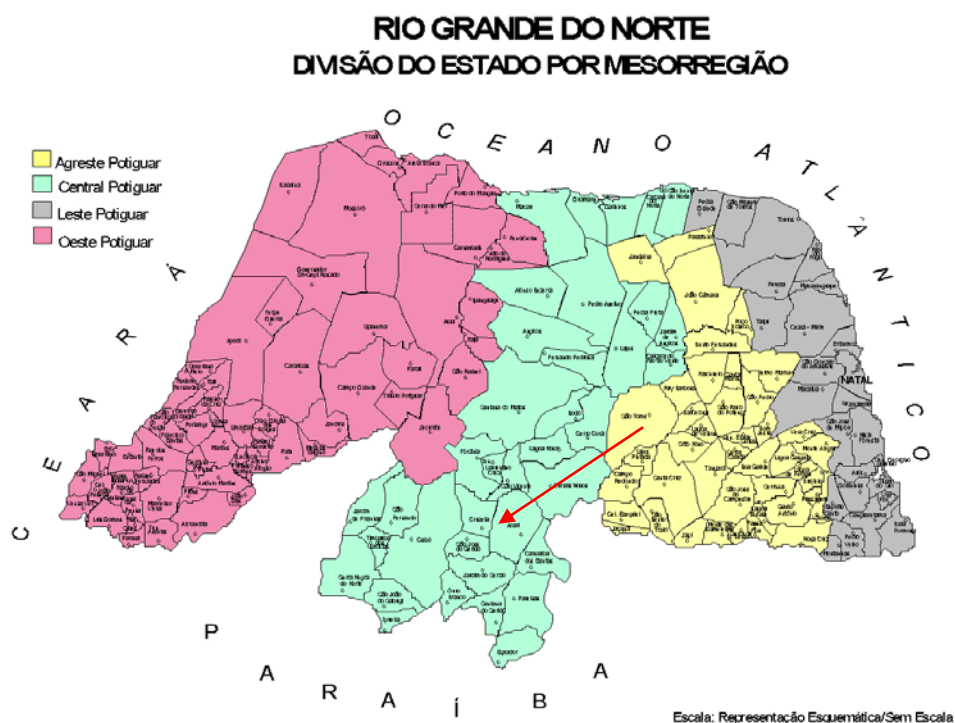
1 INTRODUÇÃO

1.1 Identificação do Empreendimento e Sua Localização

O empreendimento a ser realizado trata-se da extração de granito para obtenção de brita. A área localiza-se no Sítio Barra do Sabugí, Município de São Fernando / RN (vide mapa de localização abaixo). A área a ser explorada para brita está inserida num polígono de 10 hectares, compreendendo um corpo alongado com eixo principal no sentido NE-SW, com superfície exposta possuindo 70m x 200m x 10m de altura média, de um afloramento de rochas graníticas (Figura 01).

O presente memorial vem caracterizar os condicionantes ambientais de um afloramento de granito objeto de desmonte para obtenção de brita, a ser utilizada para recuperação das Rodovias Estaduais na região, constituindo uma área de empréstimo para construção civil, no caso específico para recuperação de estradas. Toda a atividade de extração do granito bem como a instalação do britador, desmonte e

produção de brita, serão executadas pelo 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército – Batalhão Seridó, localizado em Caicó/RN, conforme contrato em anexo.



Fonte: IDEMA, 2000

Figura 01 - Localização de São Fernando no Mapa de Mesorregiões do RN.

2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA

2.1 Situação e Localização em Relação aos Cursos d'água Próximos

A área do afloramento dista aproximadamente 03 Km do Rio Sabugí, integrante da sub-bacia do Rio Seridó. Pelos padrões de drenagem observados na área ao redor do corpo granítico, observam-se riachos temporário sem evidência de vales formado por interflúvios de ondulações suaves da depressão Sertaneja.

No entorno do Sítio Barra do Sabugí observa-se à presença de açude de pequeno porte a aproximadamente 4 Km do afloramento granítico.



Figura 02 – Feição de relevo denominada depressão sertaneja, a partir da área do afloramento granítico, observando presença de corpo hídrico (açude).

2.2 Clima

Semi-árido muito quente inserido no polígono da seca com precipitação média em torno de 600mm e chuvas irregulares.

2.3 Geologia

O Estado do Rio Grande do Norte possui um território datado da era geológica Arqueozóica e Proterozóica. Os Escudos Cristalinos e as Bacias Sedimentares formam os dois tipos de terrenos predominantes. (Figura 03).



Figura 03 – Detalhe do afloramento de granito cinza objeto de área de empréstimo para construção civil, quanto à obtenção de brita para recuperação de rodovias.

Cerca de 60 % do Estado é formado por rochas cristalinas e terrenos antigos, compreendendo toda à parte centro-oeste e grande parte do sul do Estado (IDEMA, 2002).

A porção centro-oeste é formada pelos Escudos Cristalinos. Os tipos de formações geológicas existentes são formadas por rochas magmáticas e metamórficas como granitos, quartzitos, gnaisses e micaxistos. Nesta formação são encontrados diversos minerais economicamente valorizados, tais como a scheelita, berilo, ferro, cobre, enxofre, mica, ouro, columbita, entre outros. A área a ser explorada como área de empréstimo é constituída exclusivamente de granito acinzentado, situada em uma região rica em biotita gnaisses, gnaisses com epidoto e gnaisses listradas a hornblenda, sendo correlacionadas ao Complexo Seridó das rochas pré-cambrianas.

3. PLANO DE LAVRA - DADOS TÉCNICOS DA MINERAÇÃO

3.1 Área da Lavra

As atividades de lavra concentram-se exclusivamente na exploração de brita em um terreno geologicamente descrito anteriormente. A região em estudo possui uma área de 10 ha, onde a matéria prima, granito, é escoada através de caminhões para o depósito em Caicó - RN, onde toda a produção é vendida com destino a construção civil dos municípios próximos.

3.2 Recurso Mineral

O recurso mineral a ser explorado neste empreendimento será a brita. O minério possui uma coloração cinza e granulometria grosseira e média e composição de biotita-gnaisses, epidoto, honblenda, quartzo, mica, feldspato etc.

3.3 Reserva Mineral

O depósito mineral da área em estudo, pode-se considerá-lo como uma reserva em potencial da substancia mineral brita com uma vida útil para o projeto de 30 anos.

3.4 Planejamento da Lavra

Este Plano de Lavra estabelece inicialmente, como reserva lavrável, o pacote rochoso constituído pela crista até o pé do talude correspondente à reserva medida.

3.5 Desenvolvimento

A preparação da mina começará com os serviços de limpezas, aberturas de estradas e infraestruturas de apoio logístico. Os diferenciais topográficos entre o maciço a ser explorado e o plano levemente inclinado da área em volta do mesmo favorecem o desenvolvimento das atividades extrativas, nos deslocamentos e posicionamentos das pranchas para o processo de acabamento dos blocos, bem como, na remoção dos rejeitos para a área de bota-foras, projetadas sobre as rochas encaixantes.

A jornada de trabalho a ser estabelecida para os serviços a serem realizados na área referida, será de 12 meses/ano, 22 dias por mês e 8 horas por dia. Será estabelecida a seguinte meta de produção para o aproveitamento racional do jazimento.

a) Produção mensal prevista = $800 \text{ m}^3/\text{mês}$

b) Jornada de trabalho anual = 12 meses/ano

c) Produção anual na extração = 9.600 m^3

3.6 Máquinas e Equipamentos

As máquinas, equipamentos e instalações serão projetadas, montadas, operadas e mantidas em conformidade com as normas técnicas vigentes e as instruções dos fabricantes e as melhorias desenvolvidas por profissional habilitado. As máquinas e equipamentos serão acionados ou desligados pelo operador na sua posição de trabalho. As operações de início de furos com martelotes pneumáticos serão usados dispositivos adequados para firmar a haste. As ferramentas serão apropriadas ao uso a que se destinam, proibindo-se o emprego de defeituosas, danificadas ou improvisadas inadequadamente;

3.7 Método de Lavra

O desenvolvimento da lavra será realizado mecanicamente de acordo com o comportamento do minério *"in loco"* seguindo as tendências locais de comportamento de organização geométrica do depósito. A substância mineral, objeto da exploração, é a brita para comercialização imediata na construção civil, na composição de aglomerados, classificada como média e grossa.

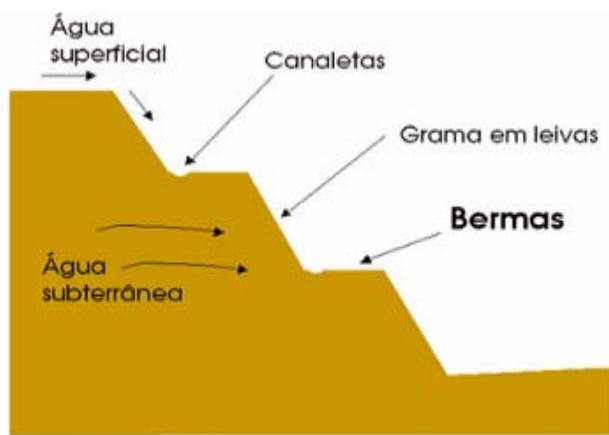


Figura 04 – Representação esquemática de uma bancada de uma mina.

Será desenvolvida uma lavra em cava no terreno delimitado, tendo dimensões geométricas de pit 5 m de largura por 10 m de comprimento e 6 m de profundidade. Estas dimensões são modificadas de acordo com as necessidades. O avanço frontal na estrutura maciça ocorre através de uma sucessão de bancos de taludes que formam a cava da mina. Estes bancos são dotados de vias de acesso e pequenas praças para recolhimento do material desmontado.

Extração

Carregamento

Comercialização

3.8 Desmonte

O desmonte inicia-se com a operação de furação com o objetivo da criação da face livre da bancada. Esta furação é feita com martelote hidráulico Modelo IR 750 e compressor Modelo XA 175 de 360 pcm. Estes furos serão carregados com explosivos onde é feita execução do plano de fogo pelo blaster e depois detonado. O desmonte termina com o transporte do material fragmentado para o britador de mandíbulas e depois passa pelo peneiramento para adequação do mercado.

3.9 Carregamento e Transporte

O carregamento sobre os veículos transportadores será efetuado através de uma pá carregadeira. O transporte até o britador é feito por caminhões truck até a boca do britador de mandíbulas. Os

transportes da produção da frente de lavra até a sede do depósito de materiais de construção serão utilizados caminhões trucks ou carretas contratadas a terceiros.

3.10 Beneficiamento

O beneficiamento desta jazida consiste nas seguintes etapas. O material passa por um britador de mandíbulas onde o material é fragmentado para redução granulométrica. Depois o material fragmentado passa por uma série de peneiras que servem para classificar o tamanho das britas (britas 0 e 1) para posterior atendimento do mercado consumidor como construção civil. O material já classificado é estocado em formas de pilhas de estoque para posterior comercialização do produto.

3.11 Produção

Conforme já foi mencionado no item escala de produção, estima-se uma produção mensal de 800 m³/mês, com jornada de trabalho 12 meses/ano, espera-se atingir uma produção anual na ordem de 9600 m³.

3.12 Volume do Minério

O peso específico médio do minério a ser lavrado é de 2,35

Logo, o volume de minério a ser lavrado por mês será (Vmm):

$$Vmm = 800 \text{ m}^3/\text{mês} \mid 1,45 \rightarrow Vmm = 551,72 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Como a jornada de trabalho mensal será de 22 dias/mês, teremos a seguinte produção diária:

$$\text{Produção diária} = 800 \text{ m}^3 \mid 22 \text{ dias/mês PD} = 36,36 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

O volume de minério a ser lavrado por dia será (Vmd):

$$Vmd = 36,36 \text{ m}^3/\text{dia} \mid 2,35 \rightarrow Vmd = 15,47 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

Considerando que o material a ser removido apresenta 40% de empolamento. Temos:

$$Vmdt = 15,47 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1,4 \rightarrow Vmdt = 21,66 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Volume de minério a ser transportado por mês será (Vmmt):

$$Vmmt = 551,72 \text{ m}^3/\text{mês} \times 1,4 \rightarrow Vmmt = 772,41 \text{ m}^3/\text{mês}$$

3.13 Volume de capeamento

A jazida de brita, apresenta uma relação de mineração de 0,2:1. Logo o volume de capeamento (estéril) a ser removido por dia será (Ved):

$$Ved = 36,36 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0,2$$

$$Ved = 7,27 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Considerando que o material apresenta um empolamento de aproximadamente 40% quando removido, temos:

Volume de capeamento (Estéril) a ser transportado por mês será (Vedt):

$$Vedt = 7,27 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1,6$$

$$Vedt = 11,63 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Volume de estéril a ser transportado por mês será (Vemt):

$$Vemt = 11,63 \text{ m}^3/\text{dia} \times 22 \text{ dias/mês}$$

$$Vemt = 255,86 \text{ m}^3/\text{mês}$$

3.14 Segurança e Higiene do Trabalho

O plano de prevenção de acidentes visa reduzir aos limites mínimos os riscos com perdas de equipamentos, insumos, tempo e principalmente com a pessoa humana primando pela segurança dos operários. Para isso serão fornecidos pela empresa EPI's (equipamentos de proteção individual) aos funcionários.

3.15 Recuperação da Área

A recuperação da área será realizada durante e após a extração do minério, à medida que a frente de lavra for avançando, possibilitando a colocação do material proveniente do capeamento. Para recuperar áreas afetadas pela lavra nas imediações da mesma as cavas resultantes da extração serão preparadas tecnicamente para serem transformadas em áreas para a agricultura, obedecendo às determinações contidas no diagnóstico ambiental, estudo já apresentado detalhadamente ao órgão ambiental competente IDEMA-RN.

3.16 Estimativa de Custo

A) Equipamentos

- Uma carregadeira com jornada de trabalho do equipamento de 8 horas/dia e produção de 36 m³/dia. A carregadeira é da própria empresa e teve um custo de aquisição de R\$ 60.000,00.
- Um martetele Hidráulico modelo IR 750 com jornada de trabalho do equipamento de 8 horas/dia que teve um custo de aquisição de R\$ 2.500,00.
- Um compressor modelo XA 175 de 360 pcm com jornada de trabalho do equipamento de 8 horas/dia que teve um custo de aquisição de R\$ 40.000,00.
- Um caminhão Truck com jornada de trabalho do equipamento de 8 horas/dia e produção de 36 m³/dia. O caminhão é da própria empresa e teve um custo de aquisição de R\$ 40.000,00.
- SUB-TOTAL.....R\$ 42.500,00

B) Quadro de Pessoal

Salário mensal e encargos	R\$
01 Engenheiro de minas (Regime de Assistência)	1.400,00
01 Encarregado de Produção	480,00
01 Motorista de Caminhão	300,00
01 Motorista da Pá Carregadeira	300,00
02 Marteleiros	700,00
02 Auxiliares de Campo	480,00
01 Cozinheiro	240,00
SUB-TOTAL	3.900,00
Outros (combustível, manutenção, alimentação etc) R\$	3.000,00
Total	6.900,00
C) Custo Total (A+B) reais/mês	49.400,00

4. CONCLUSÃO

Considerando que serão trabalhados 12 meses/ano e sendo a produção mensal prevista de 800 m³/mês temos:

- Produção no período = 800 m³
- Como o minério será comercializado a 72 reais/m³ (FOB)
- Valor de venda no período = 800 m³ x 72,00 reais/m³
- vendas/mês = 57.600,00 reais
- Lucro líquido/mês = R\$ 57.600,00 — R\$ 49.400,00 = R\$ 8.200,00

Logo, a empresa obterá uma margem de lucro mensal de aproximadamente 14,24% sendo mantida a escala de produção estabelecida previamente e o preço unitário de venda da brita. Em face dos resultados obtidos com relação aos custos e ao preço de comercialização do minério, podemos concluir que o presente plano de lavra é economicamente viável.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIGARELLA, J. J. **The Barreiras Group in Northeast Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Porto Alegre (RS), n.47, p.365-393. 1975.

BRASIL – Min. Agric / Min. Inter. – **Levantamento Exploratório** – Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Norte. SUDENE, Recife – PE, 531p. 1971.

CAMPOS E SILVA, A. **Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte**. Natal: Arq. Inst. Antropologia de Natal/UFRN, 1969.

KING, L. C. – **A geomorfologia do Brasil oriental**. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, 18(2): 147-265. 1956.

MABESOONE, J. M.; ROLIM, J. L. & CASTRO, C. **Late Cretaceous and Cenozoic history of northeastern Brazil**. Geologie Mijnbouw, 56(2): 129-139. 1977.

MABESOONE, J. M. & CASTRO, C. **Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro**. Bol. Do Núcleo Nordeste da Soc. Brás. Geol., Recife, 3:5-36, 1975.

SERHID-RN –Secretaria Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Relatório Síntese. Novembro 1998

Jardim de Sá, E.F. – **Revisão preliminar sobre a Faixa dobrada do Seridó e eventuais correlatas no nordeste**. Revista Ciência , Natal, 1 (1): 77-83, 1978.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE 7 DRN / HM. **Banco de dados hidroclimatológicos do Nordeste** – Sistema de pluviometria. Arquivo de Microfichas, Recife, 1980.

SOUZA, H,R., CATALANI, G.**Manual Prático de Escavação**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1976. 1-283p.

SUSLICK, S.B. et. al., **Na Evaluation of the Transportation Alternatives in the Mine-Process Circuit: Na Application to Tobene Phosphate Mine (Senegal)**.,*Revista da Escolade Minas*. Ouro Preto. Nº 1 Jan/Março 1999. Ano 63 vol.52. 31-36p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 13029) (1993) **Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente** , Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira e Normas Técnicas - ABNT (NBR 13030) (1993) **Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente**, Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro.

Williams, D.J, Wu,Y. & Morris, P.H.(1997) **Systems analysis of engineered mine site rehabilitation**, Proceedings of The Fourth Intern. Conf. on Tailings and Mine Waste, Fort Collins, Colorado, Rotterdam: A.A. Balkema.

Sinding, K. (1998) **Environment impact assessment and management in the mining industry**. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 81-86.

ESTUDO DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE CORTE DE FIO DIAMANTADO NA EXTRAÇÃO DE GRANITOS COMERCIAIS

D. B. Marcon¹, N. F. Castro², F. W. H. Vidal³

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

Rod. Cachoeiro – Alegre, km 05, Cachoeiro de Itapemirim, ES, CEP 29300-970

¹dbortolote@cetem.gov.br; ²ncaastro@cetem.gov.br; ³fhollanda@cetem.gov.br

RESUMO

O fio diamantado é a tecnologia de corte de rochas ornamental mais difundida no mundo atualmente. Sua utilização nas pedreiras brasileiras teve início na década de 90, intensificando-se nos últimos 10 anos. Seu desenvolvimento foi embasado, principalmente, no empirismo, necessitando-se, atualmente, de estudos de campo, junto às empresas com o objetivo de avaliar a tecnologia de fio diamantado, cortes realizados, equipamentos utilizados e parâmetros envolvidos no processo. Para a realização deste trabalho foi feito um estágio em uma pedreira e visitas a outras cinco, onde foi possível a coleta de dados referentes ao corte de 5 tipos de rocha. Os dados coletados foram lançados em planilhas e analisados. A partir da pesquisa realizada, pôde-se descrever aspectos da utilização do fio diamantado, tais como, cortes realizados, princípio de funcionamento, tipo de fio e máquinas de fio utilizadas, além da evidência de diversos parâmetros que afetam o corte com fio e a avaliação do desempenho do fio. Através da análise dos dados coletados, tentou-se correlacionar alguns dos parâmetros envolvidos, como rendimento e área de rocha cortada, rendimento e dimensão de arrasto e a comparação entre cortes horizontais e verticais. Neste estudo pode-se verificar que o fio diamantado é vantajoso para o corte de granito, especialmente para cortes de grandes superfícies, considerando sua maior produtividade e menor custo operacional. Diversos são os parâmetros que influenciam o corte com fio diamantado, sendo esses parâmetros controláveis e não controláveis. Observou-se, com dados coletados em campo, uma tendência de aumento de rendimento com aumento da área e da superfície de arrasto, no entanto essa relação é limitada pela potência da máquina. Os cortes verticais e horizontais analisados não apresentaram diferença expressiva quanto aos seus desempenhos.

Palavras-chave: fio diamantado, granitos comerciais, lavra;

1. INTRODUÇÃO

A partir de 1977, iniciou-se a utilização dos fios diamantados nas pedreiras de mármore de Carrara na Itália, tendo seu uso voltado exclusivamente para mármore e travertinos. Após 10 anos de evolução tecnológica passou a ser utilizados também nas pedreiras de granitos na região da Sardenha, no fim dos anos 80 (REGADAS, 2006). O fio diamantado surgiu para substituir as inconveniências técnicas do fio helicoidal, principalmente no que diz respeito ao corte de rochas resistentes como os granitos - materiais com grande diversidade cromática e maior resistência que os mármore - que obteve a intensificação da sua demanda mundial a partir dos anos 80 (QUALHANO, 2005). A aplicação do fio diamantado nas pedreiras brasileira começou na década de 90 e seu uso intensificado nos últimos 10 anos (VIDAL *et al.*, 2012). Hoje o Brasil é um dos maiores países produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo, com uma produção de 9,00 milhões de toneladas, sendo que 2,20 milhões de toneladas foram exportadas, gerando um faturamento de US\$ 1 bilhão (CHIODI FILHO, 2012).

O fio diamantado é a tecnologia de corte de rocha ornamental mais difundida no mundo atualmente. No Brasil essa tecnologia teve seu desenvolvimento embasado no empirismo, sem muito suporte científico. Com base nesse aspecto, viu-se a necessidade de realizar um estudo acadêmico atualizado, embasado tanto na teoria quanto na prática junto às empresas, sobre a utilização do fio diamantado na extração de granitos comerciais no país.

2. OBJETIVO

Estudar a utilização da tecnologia de corte com fio diamantado na lavra de granitos comerciais, realizando um estudo de campo junto a empresas sobre o equipamento de corte, os cortes realizados, as rochas cortadas e parâmetros envolvidos no processo.

3. METODOLOGIA

O estudo contemplou um levantamento bibliográfico sobre a utilização do fio diamantado na lavra de rochas ornamentais, a fim de se obter um referencial teórico sobre o processo de extração com a utilização desta tecnologia. Com a finalidade de se obter um conhecimento prático da utilização do fio diamantado, foi realizado um estágio de 40 horas, durante o período de uma semana, na Empresa Alvorada Mineração, Comércio e Exportação Ltda., em Caraí, MG, e visitas a outras cinco pedreiras, de empresas colaboradoras. Com o estágio e as visitas foi possível o desenvolvimento de trabalhos práticos, através do acompanhamento do ciclo operacional, para os cortes realizados com esta tecnologia.

A fim de quantificar os parâmetros de vida útil do fio diamantado (m^2/m) e sua produtividade (m^2/h), durante o desenvolvimento dos cortes foram realizadas, respectivamente, medições de desgaste nas pérolas diamantadas e avanço do equipamento de corte sobre o trilho (Figura 1). As pérolas foram medidas em intervalos de 2,0 metros, antes e depois de sua utilização no corte. Devido à necessidade de mais dados, foram coletadas informações que constavam em planilhas das empresas visitadas. Foram coletados dados referentes a cinco tipos de rochas e lançados em planilhas para análise.



Figura 1 - Medições do desgaste do fio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais tecnologias de corte utilizadas na lavra de granitos comerciais, para o isolamento de volumes secundários de rocha são fio diamantado, argamassa expansiva, explosivos e, cada vez menos, cunhas manuais, esta última sendo utilizadas principalmente nos esquadrejamento de blocos. No entanto, devido a suas vantagens econômicas e operacionais, o fio diamantado é o mais utilizado. Na Tabela 1 podemos observar o comparativo econômico e de produção entre o fio diamantado, a argamassa expansiva e o explosivo.

Tabela 1 - Comparativo econômico e de produção entre tecnologias de corte (PINHEIRO, 2012).

	Fio Diamantado	Argamassa	Explosivo
Custo (R\$/m ²)	18,99	25,31	22,88
Prod. Corte (m ² /h)	7,50	1,33	1,33
Produção (m ³ /h)	2,8	0,67	0,67

O princípio básico de corte com fio diamantado é a translação deste, sob tensão, quando enlaçado na rocha. Para isso, primeiramente, são efetuados furos coplanares e perpendiculares que se interceptam nas extremidades. Em seguida o fio diamantado é inserido dentro destes furos, as duas pontas são emendadas, formando um circuito fechado, e colocado sobre a polia motriz do equipamento de corte. O corte se processa com o movimento de translação do fio, tensionado, em contato com a rocha. Durante o corte é fornecida água ao sulco de corte, com a finalidade de refrigeração e limpeza das partículas provenientes do corte.

O fio diamantado para o corte de granito é um cabo de aço flexível de aproximadamente 5,00 mm de diâmetro, que serve de suporte para anéis diamantados, conhecidos como pérolas. As pérolas consistem em um anel metálico de aproximadamente 7,00 mm que serve de suporte para a pasta diamantada, composta pelos diamantes (elemento abrasivo que realiza o corte da rocha) e pela liga metálica que os mantêm fixos. Seu diâmetro externo médio é de 11,40mm. As pérolas são separadas regularmente entre si por um revestimento de borracha galvanizada, obedecendo a uma quantidade de 39 a 43 pérolas por metro de fio, sendo o fio de 40 pérolas por metro o mais utilizado.

A máquina de fio diamantado (equipamento de corte) consiste em uma plataforma motorizada com uma polia motriz ligada ao motor principal, com potência variando de 30 CV a 100 CV. A polia motriz, também conhecida como volante, tem a função de transladar o fio diamantado em contato com a rocha, com uma velocidade periférica que pode chegar a 40 m/s, no entanto usualmente é utilizada no setor, velocidades periféricas numa faixa de 28 a 36 m/s. O equipamento de corte, também possui um motor secundário, efetua o tensionamento contínuo do fio, com o movimento de recuo da máquina, à medida que avança o corte.

O fio diamantado pode ser utilizado em todas as fases do desmonte de rochas, seja ele primário ou secundário, e no esquadrejamento de blocos. O desmonte primário consiste no isolamento de grandes porções de rochas do maciço, conhecidos como quadrotos. Os quadrotos são divididos em filões, o que configura o corte secundário. Uma vez tombados, os filões são denominados de pranchas, que serão subdivididas em blocos de tamanho comercial (esquadrejamento), na Figura 2 é mostrado o esquadrejamento dos blocos. A utilização do fio é mais destacada nas etapas de desmonte primário e secundário. A aplicação do fio no esquadrejamento de blocos muitas vezes não é viável, pois seu emprego não permite um esquadrejamento seletivo, ou seja, a seleção de blocos sem defeitos do ponto de vista comercial, preferindo-se outras técnicas (PINHEIRO, 2012).



Figura 2 - Prancha sendo esquadrejada em blocos com a utilização de explosivos

Os dois principais tipos de corte realizados com o fio diamantado são os cortes verticais e horizontais (Figura 3), embora possam se realizar também cortes inclinados.

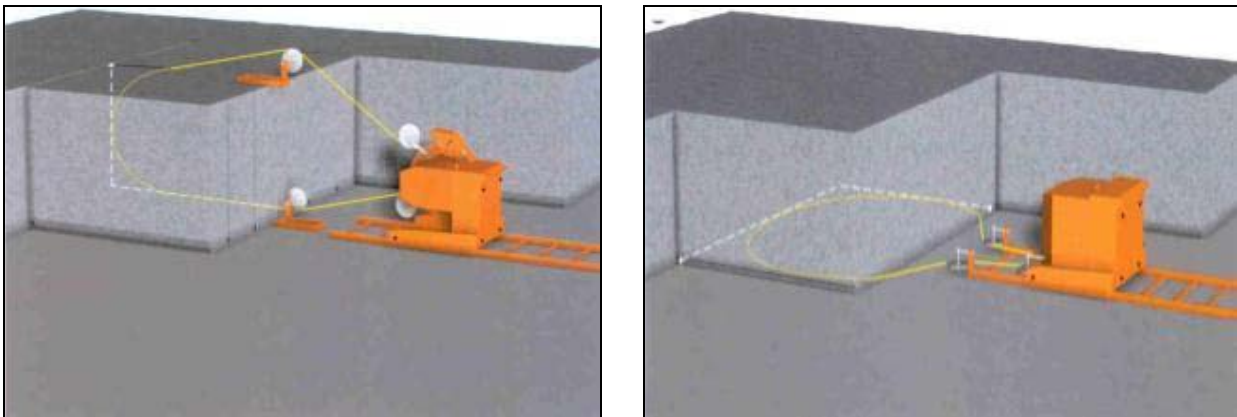


Figura 3 - Representação do corte horizontal e vertical, respectivamente. (MARINI QUARRIE GROUP, 2005 *apud* REGADAS, 2006).

Conciliando a versatilidade e flexibilidade do fio diamantado com a montagem de um sistema estratégico de polias auxiliares, podem-se gerar variações destes dois tipos de corte, conforme necessidades, como são os casos dos cortes em “L”, os cortes verticais ascendentes e o corte cego (Figura 4).

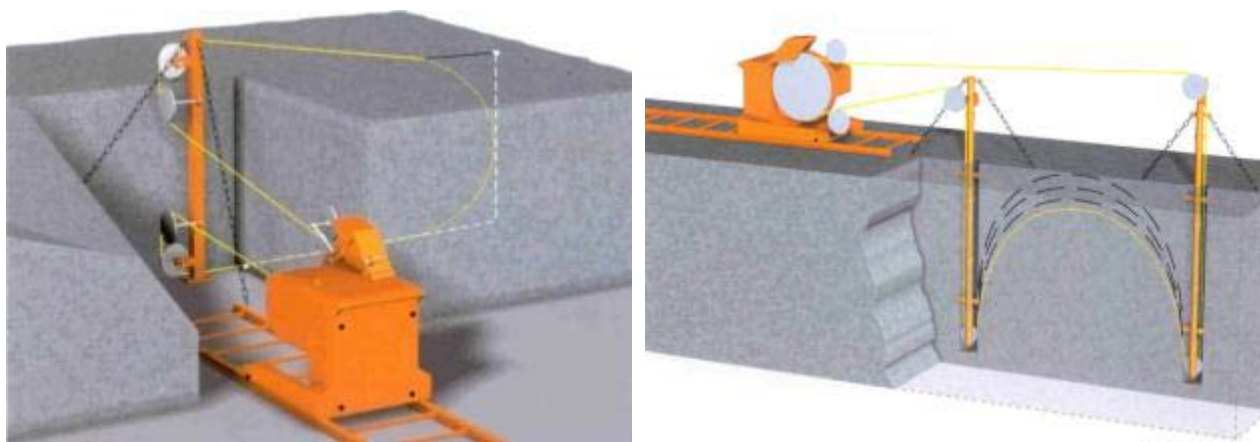


Figura 4 - Corte vertical em "L" e corte cego, respectivamente. (MARINI QUARRIE GROUP, 2005 *apud* REGADAS, 2006).

O desempenho do fio diamantado é avaliado pelo seu rendimento e pela velocidade de corte. O rendimento expressa a vida útil do fio diamantado, sendo explicitado pelo total de área de rocha cortada por metro de fio (m^2/m). Para um maior controle de desempenho do fio diamantado, o desgaste das pérolas é avaliado após a realização de cada corte, quantificado pela diferença de diâmetro das pérolas, antes e após o término do corte. O desgaste do fio diamantado não é linear, como é observado na Figura 5. O mecanismo de desgaste das pérolas consiste no desgaste gradual da matriz metálica, que suporta os diamantes, para que estes aflorem e se tornem afiados, com poder de corte. À medida que cada grão de diamante é consumido, novos grãos surgirão com o desgaste da matriz metálica, estabelecendo-se um ciclo, para o consumo das múltiplas camadas de diamante. Para se calcular o rendimento do fio diamantado, utiliza-se a Equação 1.

$$R = \left(\frac{\phi_n^2 - \phi_a^2}{\phi_i^2 - \phi_f^2} \right) \frac{A}{L} \quad (1)$$

Onde, R = Rendimento (m^2/m);

ϕ_n = Diâmetro da pérola nova (mm);

ϕ_a = Diâmetro do anel de suporte (mm);

ϕ_i = Diâmetro da pérola no início do corte (mm);

ϕ_f = Diâmetro da pérola no fim do corte (mm);

A= Área de rocha cortada (m^2);

L= Comprimento do fio (m).

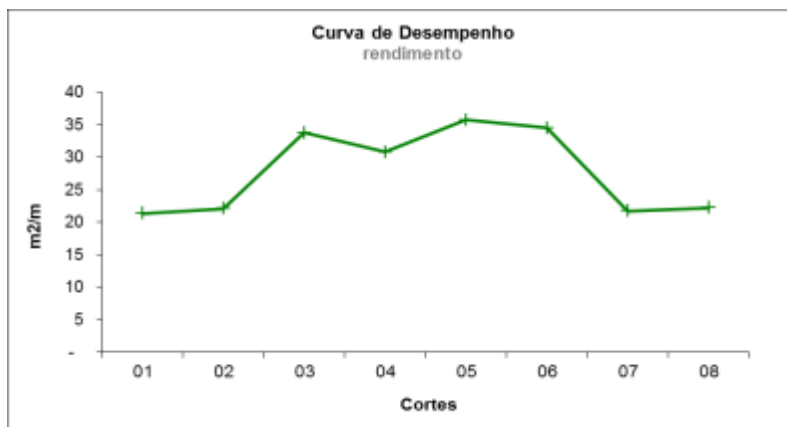


Figura 5 - Gráfico representando o rendimento de um fio diamantado ao longo de sua vida útil.

A velocidade de corte é a razão entre a área de rocha cortada pelo tempo gasto para a realização do corte (m^2/h), e depende de diversos parâmetros, sendo o principal o tipo de rocha a ser cortada. Vale ressaltar, que a velocidade de corte não é constante ao longo de todo o corte e está condicionada ao comprimento de fio em contato com a rocha (dimensão de arrasto) e ao grau de anisotropia do maciço (CARANASSIOS; PINHERO, 2003).

O corte com o fio diamantado é afetado por parâmetros controláveis e não controláveis. Os parâmetros não controláveis são relativos a características das rochas. Os parâmetros controláveis são de âmbito operacional, como: o raio de curvatura do fio (ideal que o fio tenha forma de semicircunferência ou segmento de circunferência), potência da máquina, velocidade periférica e de arrasto do fio, quantidade de água no corte e dimensões do corte. Na Tabela 2 observa-se os diversos parâmetros que afetam a eficiência do corte com fio diamantado.

Tabela 2 - Fatores que afetam a eficiência do corte com o fio diamantado (modificado de ÖZÇELIK, 1999 *apud* ATAEI *et al*, 2011).

Parâmetros não controlados relacionados à característica das rochas	Parâmetros parcialmente controlados ou controlados	
	Propriedades da ferramenta de corte e equipamentos	Condições de trabalho
Dureza	Potência da máquina	Pessoal qualificado
Abrasividade	Velocidade periférica	Vibrações da máquina
Tensões	Números de pérolas por metro	
Grau de alteração	Número de pérolas em contato com a rocha	
Descontinuidades	Raio de curvatura do fio em contato com a rocha	
Propriedades mineralógicas	Quantidade de água usada	
Características texturais	Velocidade de arrasto	
	Dimensões do corte	

Para análise dos dados foi feita uma correlação entre os valores de rendimento obtidos com a dimensão da área cortada e com a dimensão de arrasto. Na Figura 6 podemos observar esta correlação para dois tipos de rochas. Mesmo com uma dispersão dos dados relativamente grande (Rocha 1 apresentando $R^2 = 0,3315$ e Rocha 2 apresentando $R^2 = 0,5649$), pode-se verificar uma tendência de aumento de rendimento do fio diamantado com o aumento da área de corte uma possível explicação para isso é que os desgastes das pérolas ocorrem mais acentuadamente na fase inicial, quando o bloco de rocha sendo

cortado apresenta arestas afiadas, e na fase final do corte, quando o fio vai perdendo o formato de semicircunferência e o raio de curvatura é diminuído, o que gera maiores esforços nas pérolas, consequentemente maior desgaste. Isto indicar que corte de áreas maiores diminui a quantidade de cortes necessários, reduzindo as etapas de menor rendimento.

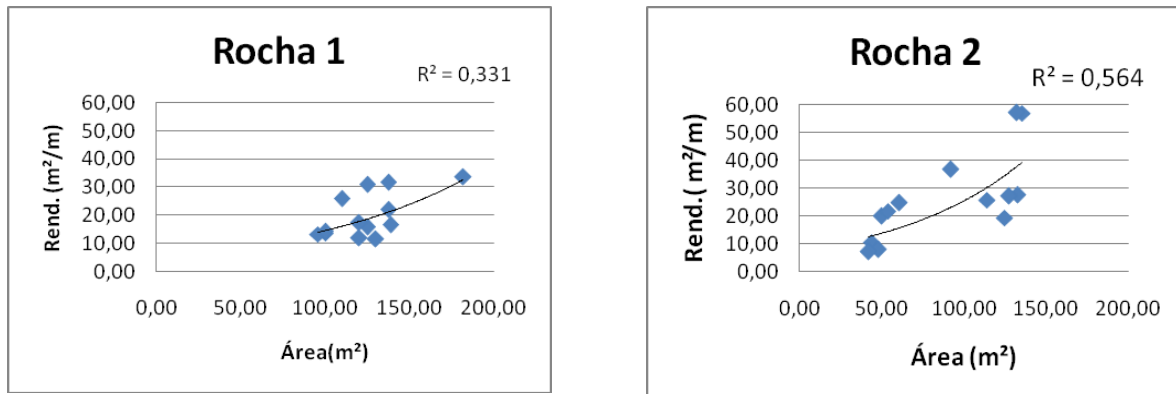


Figura 6 - Gráficos de correlação entre rendimento e área de rocha cortada

Outro ponto observado com a análise dos resultados foi à tendência de aumento do rendimento com o aumento da dimensão de arrasto do fio, que também apresentou uma dispersão de dados relativamente alta como podemos observar na Figura 7 (Rocha 1 e Rocha 2 apresentaram $R^2=0,4608$ e $R^2 = 0,5048$, respectivamente). A tendência de maior rendimento com aumento da dimensão de arrasto contradiz à lógica, já que quanto menor a dimensão de arrasto menor o número de pérolas em contato com a rocha, aumentando-se a potência disponível para cada uma delas. Com isso, pode-se aumentar a velocidade periférica e a velocidade de arrasto, o que geraria, na teoria, uma situação de atrito ideal, que permitiria a correta afiação das pérolas e o aumento do rendimento.

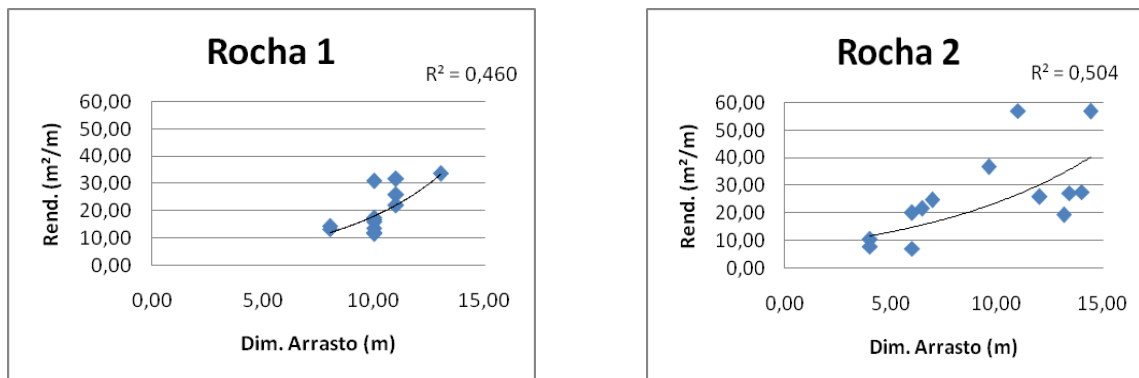


Figura 7 - Gráficos de correlação entre rendimento e dimensão de arrasto.

Por outro lado, analisaram-se os rendimentos para cortes horizontais e verticais, com o intuito de verificar a relação entre o desempenho do fio e o tipo de corte. No entanto, não foi verificada uma diferença padrão entre eles, como podemos observar na tabela 3.

Tabela 3 - Correlação entre o desempenho do fio diamantado e o tipo de corte realizado.

Rocha	Corte	Rendimento (m ² /m)	Desvio Padrão	Velocidade de corte(m ² /h)	Desvio Padrão
1	Horizontal	21,64	13,95	6,37	1,72
	Vertical	20,67	9,48	8,29	2,22
2	Horizontal	19,32	5,43	6,80	1,21
	Vertical	26,35	16,00	7,80	2,77
3	Horizontal	14,72	8,72	12,79	3,10
	Vertical	21,04	16,19	12,11	2,56
4	Horizontal	23,15	11,42	11,48	1,11
	Vertical	19,90	8,01	14,49	3,52
5	Horizontal	26,5	12,67	8,90	1,72
	Vertical	24,66	4,88	8,67	2,25

O rendimento nas rochas 1, 4 e 5 apresentaram maiores rendimentos nos corte horizontais. Já as rochas 2 e 3 obtiveram maiores rendimentos nos cortes verticais.

Quanto à velocidade de corte, as rochas 1,2 e 4 apresentaram menores velocidades nos cortes horizontais, enquanto as rochas 3 e 5 obtiveram menores velocidades no cortes verticais. Todavia, é frequente ouvir relatos de profissionais da área, que os cortes horizontais apresentam maiores tempo de corte, ou seja, menor velocidade. Isso pode ser devido ao acúmulo de água e lama proveniente da refrigeração e retirada das partículas do sulco de corte, nos cortes horizontais, o que não acontece com os cortes verticais, que tem a água retirada do sulco de corte pela gravidade. Isso gera um maior esforço do motor principal da máquina (aumento da amperagem), para a manutenção da velocidade periférica do fio, devido à resistência da água. O acúmulo de água no corte horizontal também contribui para a diminuição do poder de corte das pérolas, já que gera o fenômeno da aquaplanagem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fio diamantado mostra-se extremamente vantajoso na lavra de granitos, levando em consideração sua flexibilidade e versatilidade operacional somado à maior produtividade e menor custo de operação. No entanto, para se conciliar uma grande produtividade com uma vida útil de fio satisfatória deve-se atentar aos diversos parâmetros que influenciam no corte.

Quanto à correlação entre os tipo de corte verificou-se não haver uma diferença expressiva entre ambos, no que diz respeito ao rendimento e velocidade de corte, porém os cortes horizontais necessitam de melhor monitoramento operacional, principalmente no que se refere à sua refrigeração e lubrificação.

Os resultados apresentados indicam que o desempenho do fio diamantado tem uma tendência de aumento com o aumento da área de corte e da dimensão de arrasto, porém verifica-se que essa relação pode ser limitada pela potência da máquina, tendo em vista que o maior contato de fio com a rocha necessita de máquinas mais potentes. Todavia, os dados utilizados apresentaram uma elevada dispersão, o que torna os mesmos estatisticamente pouco representativos. Junto a isso, diversos são os fatores que podem influenciar no corte, sendo assim de difícil correlação. Com isso, nota-se a importância de maiores estudos do uso da tecnologia neste trabalho frizada, possibilitando uma melhor

amostragem dos dados e uma melhor correlação dos diversos parâmetros que afetam o corte, podendo assim propor medidas de otimização do uso desta tecnologia no corte de granitos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Engenheiros de Minas José Roberto Pinheiro e Nuria Fernández Castro pela dedicação e tempo disponibilizado. Ao Núcleo Regional do Centro de Tecnologia Mineral no Espírito Santo, às empresas colaboradoras, a Poliana de Oliveira Marcarini pelo apoio e ao CNPq pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATAEI, M; MIKAIEL, R; SERESHKI, F; GHAYSARI N. **Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis**, Arabian Journal of Geosciences, Springer Berlin /Heidelberg, 2011, ISSN: 1866-7511, Earth and Environmental Science, p 1-7. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-010-0278-z>.

CARANASSIOS, A.; PINHEIRO, J.R. (2003). **O emprego do fio diamantado na extração de rochas ornamentais: curso básico para operadores**. Cachoeiro de Itapemirim.CETEMAG. 25pag.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço das Exportações e Importações de Rochas e de Revestimento no 1º Bimestre de 2012. São Paulo: ABIROCHAS, 2012. 7p. (Informe n. 04/2012).

QUALHANO, Miguel Ângelo Lima. **O arranjo produtivo local do setor de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Cândido Mendes, Campos Dos Goytacazes – RJ, 2005.

PINHEIRO, José Roberto. Comunicação Pessoal Pedreira da Empresa Alvorada Mineração Comércio e Exportação Ltda, Carai, MG. 2012.

REGADAS, I. C. M. C. (2006). **Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo,Brasil**. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. USP. 128p.

VIDAL, F.W.H; PINHEIRO, J.R; CASTRO, N.F; CARANASSIOS, A (*in memoriam*).**Lavra de rochas ornamentais**. In: Tecnologia de Rochas Ornamentais. VIDAL, *et al.* (Org.).Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. [no prelo].

BENEFICIAMENTO

DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DE RESINA VEGETAL NA CONFECÇÃO DE REBOLO ABRASIVO UTILIZANDO DIAMANTE SINTÉTICO COMO ELEMENTO ABRASIVO

V.M.F.Leitão¹, L.L.L.Silveira²

^{1,2}Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Rod. Cachoeiro – Alegre, km 05, Cachoeiro de Itapemirim, ES, CEP 29300-970

¹emvagnermoro@gmail.com; ²leolysil@cetem.gov.br

RESUMO

Com a necessidade cada vez maior de empregar materiais biodegradáveis a fim de minimizar os efeitos poluentes gerados pelas atividades industriais, no que concerne o setor de rochas ornamentais, este trabalho mostra os resultados obtidos na comparação de um rebolo de resina vegetal com os rebolos resinóides comumente utilizados no setor, ambos submetidos ao Simulador de Polimento de Rocha (SPR). Este equipamento possibilita estudar o processo de polimento de forma a definir parâmetros de simulação das variáveis operacionais em escala laboratorial. A liga resinóide do rebolo alternativo pode ser trabalhada a fim de conferir alguns aspectos físicos mecânicos distintos, como dureza, trabalhabilidade e plasticidade, principalmente. Foram utilizadas duas durezas da resina vegetal provenientes da variação da proporção dos compósitos, sendo agregado ao composto dois tipos de diamante sintético com vista a verificar no processo o comportamento deste quanto a taxa de desgaste e o brilho gerado na superfície da rocha. As variáveis operacionais utilizadas para realização do ensaio foram as utilizadas pela indústria como a carga aplicada, velocidade de rotação e sequência granulométrica. A resina vegetal apresentou resultados satisfatórios tanto quanto ao rendimento do rebolo abrasivo quanto a qualidade do brilho gerado na superfície da rocha. Assim, esse trabalho preliminar mostrou a potencialidade de confeccionar abrasivo com ligante de origem vegetal em substituição a liga epoxídica, atualmente utilizadas nos rebolos abrasivos de polir rocha que possuem elementos como a epiclóridrina e o bisfenol-A que são carcinogênicos. Tal constatação abre um campo para a utilização desta resina para a atividade supracitada com a vantagem de não gerar um passivo ambiental no que tange a qualidade da água utilizada neste processo, visto que a toxicidade deste produto é zero, em detrimento da resina epoxídica atualmente utilizada pelo setor.

Palavras-chave: Polimento, Tribologia, Abrasivo, Rocha, Ecoeficiência.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental tem ocupado um papel cada vez mais relevante nas relações internacionais contemporâneas. A reestruturação produtiva, a globalização econômico-financeira e os avanços tecnológicos e científicos, principalmente no campo da biotecnologia, em muitos casos norteiam as relações de comércio. O Brasil ocupa uma posição de relevância na geopolítica mundial por deter um grande território, a maior biodiversidade do planeta, áreas extensas de florestas e diversidade geológica, apenas para citar algumas características.

O setor de rochas ornamentais representa uma grande importância para economia do país diante de seu crescimento acelerado, potencializado pela abundância de fontes lavráveis de rochas para exportação, alcançado no ano de 2010 a marca de 2.239.638.355 toneladas de rochas ornamentais e de revestimentos exportadas, capitalizado US\$ 959.19 milhões (ABIROCHAS, 2011). O Espírito Santo é o principal pólo de desenvolvimento no setor de rochas ornamentais do país, possuindo cerca de 900 teares em operação, o que representa 57% de todos os teares instalados no Brasil (INFOROCHAS, 2006), no Estado, existem aproximadamente 1.250 empresas no setor com um número de 25 mil empregos diretos e 105 mil empregos indiretos. O segmento é ainda responsável por 7% do PIB capixaba (SEDES, 2011). O município que mais se destaca é o de Cachoeiro do Itapemirim, sendo possuidor da maior

reserva de mármore e o maior parque industrial de rochas ornamentais do país, em Cachoeiro, o setor de rochas é responsável por 70% do PIB (SEDES, *Op. Cit*).

O principal tipo de acabamento realizado na superfície da rocha é subdividido em três etapas por Frazão (2002): o levigamento ou desbaste representa a retificação das chapas, com criação de superfícies planares e paralelas, porém ainda ásperas. O polimento retira a aspereza e proporciona o “fechamento” dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, mas não brilhante. O lustro é executado com a intenção de dar o brilho, através do espelhamento das faces dos minerais constituintes da rocha, na superfície lisa. Todas estas operações são efetuadas em politrizes.

No setor de Rochas Ornamentais os abrasivos para polimento são divididos, basicamente, em três grupos, a saber: Abrasivos Magnesianos - Usa como ligante o cimento Sorel que é composto de Óxido de Magnésio (MgO) entre outros constituintes e como elemento abrasivo o Carbetto de Silício (SiC). Estes abrasivos são fabricados em todas as granulometrias necessárias ao beneficiamento de chapas, do #16 ao #1200 mesh. Abrasivos Metálicos – compostos de elementos metálicos como cobre, estanho, cobalto, níquel, prata, cromo, manganês, molibdênio, vanádio e titânio tendo como elemento abrasivo o diamante. Abrasivos Resinóides – Composto por diamante, como elemento de corte, envolvido por resina epoxídica na maioria dos casos, estes abrasivos são os que representam a maior evolução tecnológica dos últimos anos referente a polimento de rocha.

Diante dos efeitos poluentes gerados nas indústrias, os governos mundiais têm grande motivação em incentivar a criação de novas tecnologias como alternativas biodegradáveis. Com base nesse enfoque e na necessidade do setor de rochas ornamentais em minimizar os impactos gerados no beneficiamento de rochas, iniciaram-se diversas buscas por elementos biodegradáveis que possam ser implementados no setor. Existe a possibilidade de substituição de fontes não-renováveis (como o petróleo) por fontes renováveis (resina vegetal) para a confecção de novas ferramentas e insumos.

Através de variações da proporção entre os compósitos, a resina vegetal utilizada na confecção de liga resinóide pode ser trabalhada a fim de conferir alguns aspectos físico-mecânicos distintos, como dureza, trabalhabilidade e plasticidade, principalmente. A resina vegetal, estudada neste trabalho, possui caráter biodegradável, apresentando fatores favoráveis a confecção de abrasivos a serem utilizados no beneficiamento de rochas ornamentais.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho visa analisar o rendimento de rebolos abrasivos confeccionados com resina vegetal e a qualidade do brilho na superfície da rocha, através de ensaios no simulador de polimento de rochas (SPR), utilizando corpos de prova extraídos de abrasivos confeccionados de resina vegetal em duas diferentes durezas, com dois tipos de diamantes sintéticos um próprio para liga resinóide e outro para liga metálica.

3. METODOLOGIA

O equipamento utilizado para realização dos ensaios foi o Simulador de Polimento de Rocha, que se baseia nos fundamentos do ensaio por abrasão pin-on-disk normatizado pela ASTM G99-04 utilizado para medição do desgaste de ligas metálicas. O SPR é constituído de um prato giratório onde fica fixada a rocha, um braço metálico onde é colocado o pino cilíndrico do abrasivo que exerce força sobre o disco com cargas variáveis e um sistema que injeta água sobre a rocha para limpeza e refrigeração (Figura 1). As variáveis envolvidas no sistema são: carga aplicada, tempo de exposição ao processo, velocidade de rotação, raio da circunferência, e a granulometria do abrasivo.

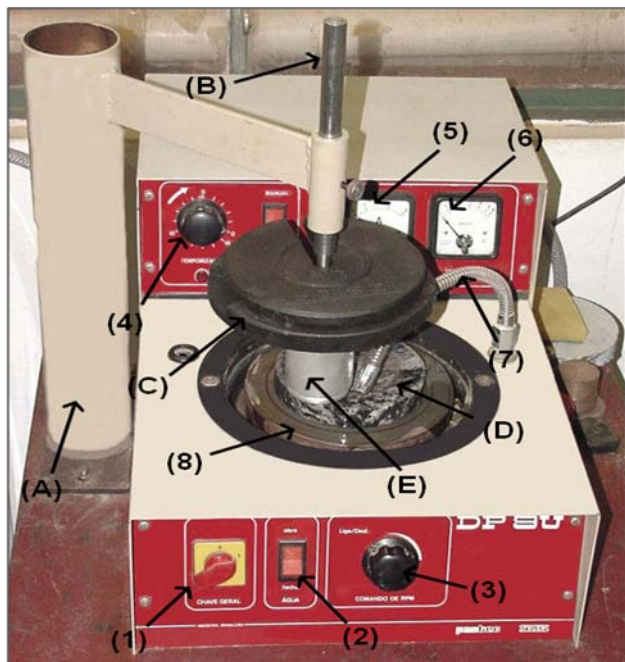


Figura 1 - Equipamento para ensaio de simulação de polimento em rochas (SPR): (1) Chave geral; (2) Dispositivo para saída de água; (3) Reostato; (4) Marcador de tempo; (5) Amperímetro; (6) Tacômetro; (7) Mangueira d água; (8) Prato giratório. (A) Torre; (B) Haste; (C) Pesos; (D) Amostra de Rocha e (E) Dispositivo para colocação do abrasivo (Silveira, 2008).

Para realização dos ensaios foi necessário confeccionar cinco discos de rocha com diâmetro de 150 mm, dotados de um furo concêntrico para fixação dos mesmos no prato giratório do SPR. Tais discos foram retirados de ladrilhos de rocha utilizando uma perfuratriz rotativa. A rocha ornamental utilizada no trabalho foi o biotita monzogranito comercialmente chamada de cinza castelo, rocha isotrópica, de granulação fina.

Os rebolos abrasivos de resina vegetal foram confeccionados com duas diferentes durezas a partir da variação dos traços entre os compósitos da resina vegetal, acrescentando como elemento abrasivo grãos de duas qualidades de diamante sintético, um próprio para liga resinóide e outro utilizado em liga metálica, nas seguintes granulometrias: 24, 36, 60, 120, 220, 400, 600, 800 e 1200 *mesh*. Foi tomado como parâmetro de comparação para análise do desgaste do rebolo abrasivo e qualidade do brilho gerado na superfície da rocha o rebolo de liga epoxídica que é comumente utilizado no setor de rochas, dos quais foram extraídos 45 pinos com diâmetro de 14,8 mm que tiveram de ser retificados em torno para obtenção de uma face de contato plana e ortogonal ao seu eixo principal. O ensaio foi pré definido com velocidade de 400 rpm, carga de 2 bar e tempo de 30 minutos, tomando como referência os trabalhos de Silveira (2008) e Neves (2010).

Para a medição da perda de massa dos abrasivos, os mesmos foram pesados antes e depois dos ensaios. Os discos de rochas foram secos em estufa por 30 minutos a 110 °C e deixados esfriar em temperatura ambiente, onde foram realizadas 200 medições de brilho com o micro-TRI-gloss da marca Gardner com registro de 40 pontos para obtenção do valor médio dos brilhos e seus respectivos desvios padrões.

A nomenclatura adotada para os corpos de prova destaca inicialmente a constituição da liga (RV- resina vegetal), a segunda parte da nomenclatura referencia o tipo de abrasivo constituinte do rebolo sendo MB os diamantados para liga metálica e RB os diamantados próprios para liga resinóide, finalizando com a especificação da dureza da liga variando de D1 para a mais macia e D2 a mais dura. O abrasivo de parâmetro comparativo foi denominado “EPÓXI”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma como o grão abrasivo adere à liga tem grande influência nos parâmetros de rendimento da ferramenta. De acordo com Aigueira e Filgueira (2006) além do elemento abrasivo, a matriz também sofre um desgaste que causa a diminuição da área de contato da partícula abrasiva com a liga, o que, em última análise, gera um desprendimento da partícula abrasiva e novos grãos abrasivos são expostos, continuando assim o processo.

Os resultados obtidos após a realização dos ensaios estão destacados na Tabela 1, onde pode ser observado o brilho gerado na superfície da rocha ao final da etapa de polimento que foi realizado no SPR, o desvio padrão obtido pela variação do brilho para as medições realizadas, que foram pequenas devido a se ter trabalhado com uma rocha que não possuía minerais com variações elevadas na diafaneidade e ainda as perdas de massa dos corpos de provas extraídos dos rebolos.

Tabela 1 - Resultados da perda de massa do pino abrasivo e brilho na superfície da rocha.

Nomenclatura Amostra	Valor médio Brilho	Desv. Padrão Brilho	Desgaste dos Jogos abrasivos (g)
RV-MB-D1	69,1	2,1	0,04
RV-RB-D1	76,7	1,4	0,04
RV-MB-D2	72,7	1,7	0,01
RV-RB-D2	80,1	1,0	0,01
EPÓXI	78,7	1,8	0,06

Observando a perda de massa dos jogos abrasivos houve uma variação significativa do rendimento entre as duas durezas da resina vegetal e o EPÓXI, que pode ser observada no gráfico da Figura 2, onde os corpos de prova RV-MB-D1 e o RV-RB-D1 que foram confeccionados com a menor dureza da poliuretana de resina vegetal obtiveram um desgaste 1,5 vezes menor que o EPÓXI. A liga confeccionada com a maior dureza identificada pelos corpos de prova RV-MB-D2 e o RV-RB-D2 apresentaram um desgaste inferior a todos os corpos de provas ensaiados sendo 6 vezes menor que o EPÓXI, potencializando um maior rendimento para ambos os rebolos de resina vegetal em comparação com o comercialmente utilizado pelo setor de rochas ornamentais.

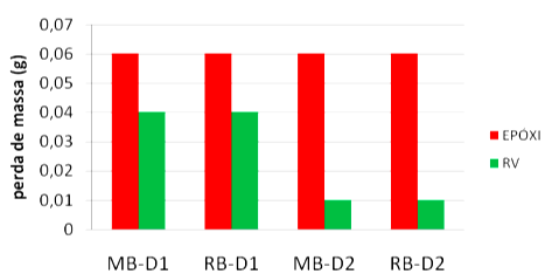


Figura 2 - Perda de massa dos jogos de abrasivos.

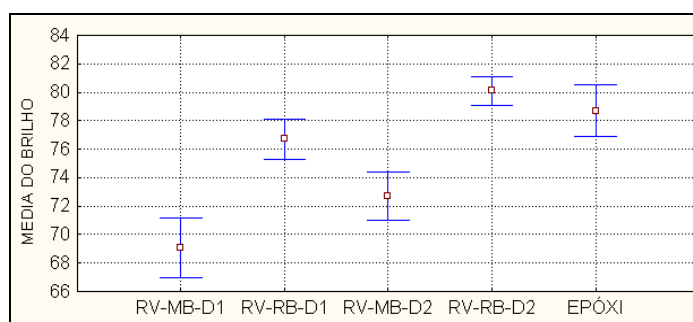


Figura 3 - Análise de brilho das superfícies de rocha submetidas ao SPR com abrasivos diamantados.

Tendo como base o brilho obtido pelo EPÓXI que representa o brilho desejado nessa etapa pelo setor de rochas ornamentais. Pode ser observado através do gráfico da Figura 3 que os corpos de prova de resina vegetal com diamante sintético próprio para liga resinóide de ambas as durezas (RV-RB-D1 e o RV-RB-D2) obtiveram a qualidade do brilho na superfície da rocha equivalente a do EPÓXI tendo o seu valor

médio dentro da mesma margem do desvio padrão sendo o valor médio do RV-RB-D2 o maior obtido. Pode-se inferir com esses resultados um melhor aproveitamento dos elementos abrasivos do rebolo de resina vegetal quando utilizado o diamante próprio para liga resinóide, onde a ligação do diamante sintético com a matriz foi sustentada por um maior período de tempo. Mesmo na análise dos corpos de prova RV-MB-D1 e RV-MB-D2 que obtiveram os menores valores de brilho a variação não foi muito significativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos neste trabalho é possível confirmar a potencialidade da utilização da resina vegetal na confecção de rebolos abrasivos para polimento de rochas ornamentais. Tal constatação abre um campo para a utilização desta resina para a atividade supracitada com a vantagem de não gerar um passivo ambiental no que tange a qualidade da água utilizada neste processo, visto que a toxicidade deste produto é zero, em detrimento da resina epoxídica atualmente utilizada pelo setor. Esse trabalho possui continuidade com a realização de ensaios em escala real nos equipamentos denominados politrizes, a fim de analisar o desempenho do rebolo abrasivo confeccionado com resina vegetal no processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abirochas - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais “Planilha das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais - Janeiro a Dezembro de 2009”. Disponível em: < www.abirochas.com.br/noticias_exportacao.php?tp=news&pagNews=1 > Acesso em: 9 de fevereiro. 2011.

Aiguera R. B.; Filgueira M. Mecanismo e Resistência à Abrasão de Compósitos à Base de Poliéster-SiC para Uso em Coroas de Polimento de Rochas Ornamentais - Laboratório de Materiais Avançados, UENF. vol. 16, nº 3, P187-192, 2006.

ASTM G99-04 Standard test method for wear testing with a pin on disk apparatus. 2004.

Frazão, E. B. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. Ed. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 132p, 2002.

Inforochas, publicação mensal do centro, Cetemag, Sicoob Credirochas e Sindirochas – Nr 8 jul 2006.

Neves, M. C. Estudo Experimental do Polimento de Diferentes “Granitos” e as Relações com a Mineralogia. 2010. 115p. Dissertação de Mestrado - EESC-USP Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).

Sedes – Secretaria de Estado de Desenvolvimento “Rochas Ornamentais”. Disponível em: < http://www.sedes.es.gov.br/default.asp?arq=rochas_ornamentais_sp > Acesso em: 23 de fevereiro. 2011.

Silveira, L. L. L. Polimento de Rochas Ornamentais: Um Enfoque Tribológico ao Processo. 2008. 203p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).

ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE TEARES MULTILÂMINA E MULTIFIO NO BENEFICIAMENTO DE GRANITOS COMERCIAIS

D.V. Souza¹, F.W.H. Vidal², N.F. Castro³

^{1,3} Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Rod. Cachoeiro – Alegre, km 05, Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, dsouza@cetem.gov.br¹, ncastro@cetem.gov.br³

² Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Avenida Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil,
fhollanda@cetem.gov.br

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de rochas ornamentais, com significativa participação das rochas processadas, principalmente chapas polidas. O método mais tradicional de obtenção dessas chapas é o desdobramento dos blocos em teares de lâminas de aço, mas com o aumento da demanda e a maior exigência do mercado com relação à qualidade do produto, o setor de rochas ornamentais começou a fazer o desdobramento dos blocos utilizando o tear de fios diamantados, que vêm mostrando resultados satisfatórios e suprindo tais necessidades. Este trabalho tem como objetivo comparar o beneficiamento primário de granitos comerciais com a utilização do tear multifio e do tear multilâmina, em termos de rendimento, consumo de insumos, qualidade dos produtos (chapas) e desempenho ambiental. Para isso, foi acompanhado, junto às empresas do setor, o processo de beneficiamento primário de granitos comerciais utilizando as tecnologias supracitadas. Também foram analisadas planilhas de produção dessas empresas e de outras empresas colaboradoras, para a obtenção dos dados de comparação. Chapas de granitos comerciais desdobradas com essas tecnologias foram analisadas e comparadas medindo a rugosidade superficial. Os resultados mostram que o tear multifio apresenta um melhor desempenho quando comparado ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito à produtividade, desempenho ambiental e qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos. Desta forma, devido principalmente ao alto custo do tear multifio e ao custo do fio diamantado, o custo final de produção é igual ou até maior que no tear multilâmina, porém sendo sua produção maior, permite um retorno mais rápido do investimento, gerando mais lucro para a empresa, o que nos leva a pensar que o tear multifio poderá vir a substituir o tear multilâmina nos próximos anos.

Palavras-chave: Tear; multifio; multilâmina; beneficiamento; granitos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma importante participação no mercado internacional de rochas ornamentais, e no ano de 2011, as exportações desse bem mineral alcançaram um faturamento de U\$ 1 bilhão, o que representa 2,2 milhões de toneladas. As rochas processadas representaram quase 1 milhão de toneladas desse volume. (CHIODI FILHO, 2012a).

As rochas processadas são em sua grande maioria chapas polidas e o método mais tradicional de obtenção dessas chapas é o desdobramento dos blocos em teares de lâminas de aço (teares convencionais), mas com o aumento da demanda e a maior exigência do mercado com relação à qualidade do produto, o setor de rochas ornamentais começou a fazer o desdobramento das rochas utilizando os teares de fios diamantados, que vêm mostrando resultados satisfatórios e suprindo tais necessidades.

Uma última estimativa feita pelo Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI (CETEM, 2012), quantificou que, no Brasil estão em operação cerca de 1400 teares multilâmina e 48 teares multifio.

Essa mesma estimativa também prevê que entrarão em operação mais 30 teares multifio neste ano de 2012.

Segundo Chiodi Filho (2012b), atualmente 20% das chapas estão sendo desdobradas utilizando os teares multifio. Como essa nova tecnologia vem se expandindo no mercado nacional, compará-la com a tecnologia tradicional é muito importante para a finalidade de auxiliar o setor apresentando as vantagens e desvantagens de uma tecnologia em relação à outra.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo comparar o beneficiamento primário de granitos comerciais com a utilização do tear multifio e do tear multilâmina, em termos de rendimento, consumo de insumos, qualidade dos produtos e desempenho ambiental.

3. METODOLOGIA

O embasamento teórico para o estudo em questão contemplou uma revisão bibliográfica abordando o beneficiamento primário de granitos comerciais. Para a base técnica do trabalho, foram coletadas informações junto aos fornecedores desses equipamentos, bem como com pessoas da área, a fim de conhecer o procedimento de serragem utilizando os teares em questão. Para obtenção dos dados foram acompanhadas, *in loco*, na empresa Pedra Rio Mármore e Granitos e na empresa Granfaccin Granitos oito serradas com os dois tipos de teares. Também foram analisadas planilhas de produção de um período de dez meses de outras três empresas, para então gerar planilhas auxiliares envolvendo cálculos e comparações. Além disso, foram analisadas 6 amostras de chapas, cedidas pela empresa Pedra Rio Mármore e Granitos, sendo 3 desdobradas em cada tear. Para essa análise, foi utilizado um apalpador para medir a rugosidade superficial da chapa, com o qual foram feitas 180 medições ao longo de uma linha de 180 mm em direção perpendicular à direção da serrada.

4. BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO DE GRANITOS COMERCIAIS

O beneficiamento primário de granitos comerciais consiste no desdobramento de blocos rochosos de aproximadamente 9 m³ em chapas retangulares de aproximadamente 5 m². O desdobramento é feito utilizando máquinas denominadas teares, podendo ser tanto de lâminas de aço (multilâmina) quanto de fios diamantados (multifio).

4.1 Teares Multilâmina (convencionais)

A serragem dos blocos, na sua grande maioria, é realizada com esses teares, que representam um modelo mais tradicional e amplamente difundido para o desdobramento de granitos comerciais.

O tear multilâmina (figura 1) consiste de um quadro metálico (quadro porta-lâmina) que, movimentando-se de forma pendular descendente sobre o bloco, realiza o corte desse em chapas, com o auxílio de uma mistura abrasiva despejada constantemente por um chuveiro sobre o bloco. No quadro são dispostas, fixadas e tensionadas, de maneira equidistante, até 220 lâminas de aço de 3 a 5 metros de comprimento, 10 - 12 cm de altura e 3 - 5 milímetros de espessura. O quadro porta-lâmina é suportado por quatro colunas e acoplado à um sistema de biela/manivela, que é acionado por um motor elétrico. Esse mecanismo é responsável pela movimentação do quadro, de forma que as lâminas entram em atrito com o bloco e abrindo sulcos de, aproximadamente, 7 milímetros, pelos quais é conduzida a mistura abrasiva. A mistura original (água, granalha de aço e bentonita ou cal) vai sendo acrescida do pó da rocha serrada e transformando-se em polpa abrasiva. O corte é produzido, principalmente, pela compressão e impacto das lâminas sobre a rocha e o atrito entre as lâminas, a polpa abrasiva e a rocha. A velocidade de descida do quadro porta lâmina é conhecida como cala.



Figura 1 - Tear Multilâmina. Fotos: CETEM

Sob a óptica tribológica do processo, abordada por Silveira (2007), a etapa de desgaste nos teares multilâmina pode ser entendida como sendo um processo de desgaste entre três corpos, onde o abrasivo (granalha), desliza entre duas superfícies (lâmina e a rocha a ser serrada).

4.2 Teares Multifio

Os teares multifio (figura 2) representam uma evolução tecnológica idealizada a partir do sucesso do uso do fio diamantado na lavra de rochas ornamentais. Eles são constituídos de uma estrutura (armação) metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem, de forma equidistante e tensionados, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e girando e movimentando-se verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas. O corte é realizado a úmido, sendo o conjunto constantemente molhado com água. Chama-se *cala* (velocidade de corte) à distância percorrida na descida do conjunto em função do tempo gasto.

A tecnologia de fio diamantado aplicada ao beneficiamento primário de granitos comerciais melhora a produtividade, pois a *cala* do tear multifio (até 80 cm/h) é maior que a do tear multilâmina (até 20 cm/h). O fio diamantado (figura 3) é constituído por um cabo de aço sobre o qual são fixadas pequenas peças cilíndricas diamantadas (*pérolas*), distanciadas entre si por um plástico/borracha especial injetado a alta pressão. A *pérola* diamantada utilizada no fio apresenta, aproximadamente, diâmetro inicial de 6,7mm, tendo sua utilização finalizada quando apresentar diâmetro de 5,2mm.



Figura 2 - Tear Multifio. Fotos: CETEM



Figura 3 - Fios diamantados. Extraído de CO.FI.PLAST (2012)

Na parte tribológica do processo, abordada por Silveira (*op.cit.*), nota-se que o corte com o fio diamantado é um processo de abrasão à dois corpos (pérola diamantada e rocha). De acordo com esse mesmo autor, o desgaste no processo de abrasão a dois corpos é menor que na abrasão a três corpos. Aplicando essa óptica ao processo de desdobramento de blocos, vemos que no caso do fio diamantado precisa-se desgastar um corpo (pérola), enquanto que no caso de teares convencionas de lâminas, é necessário desgastar dois corpos (granalha e lâmina), para em ambos os casos desgastar (serrar) a rocha.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Quantitativa

Considerando as planilhas analisadas, o consumo de energia elétrica em quilowatts por metro quadrado de chapa serrada (kw/m^2) no tear multifio equivale a 68% do consumo no tear multilâmina. Quando consideramos os insumos cal, granalha e lâmina para o tear multilâmina e o fio diamantado para o tear multifio, a comparação será em função dos seus respectivos custos ($\text{R}\$/\text{m}^2$). De acordo com as planilhas aqui consideradas, o custo dos insumos no tear multilâmina equivale a 50% do custo do insumo no tear multifio. No procedimento de serrada dos dois teares necessita-se de mão de obra especializada e também de manutenção em função do desgaste da máquina, logo, a comparação desses parâmetros também é importante. Da análise das planilhas obteve-se que, no que se refere a custos de mão de obra e manutenção ($\text{R}\$/\text{m}^2$), o tear multifio é 26% mais barato.

Observou-se uma grande diferença de produtividade, ou seja, da produção (m^2 de chapas serradas) em função do tempo de serragem (h), parâmetro fundamental diretamente relacionado ao rendimento de cada tecnologia. A produtividade do tear multilâmina equivale a 16% da produtividade do tear multifio. Isso significa que, enquanto o tear multifio produz $100 m^2$ de chapa, o tear multilâmina produz apenas $16 m^2$, quando considerado o mesmo tempo. Pode-se observar que, para esse importante parâmetro, há uma maior discrepância quantitativa entre as duas tecnologias.

O resíduo gerado quando se considera o tear multifio é uma lama composta basicamente por pó de rocha e alguns micro cristais de diamante que vieram a se desprender do fio diamantado e água. Já no tear multilâmina, a lama contém pó de rocha, cal, água, gralha de aço ou ferro e a lâmina desgastada. Em ambos os casos, mais de 95% da água utilizada é recirculada. Foram feitos cálculos para verificar a quantidade de resíduo que é gerado nas serradas analisadas, mensurando o volume de rocha desgastada pela largura dos sulcos que são feitos no bloco, ao ser cortado com os teares em questão (aproximadamente 6,8 mm no tear multifio e 7,6 mm no tear multilâmina). Eles indicaram que aproximadamente 26% do volume do bloco é perdido na forma de resíduo fino. Mais especificamente, no tear multifio o volume de resíduo mensurado equivale a 26,35% do volume do bloco e no tear multilâmina equivale a 26,88%. Porém, no tear multilâmina os insumos utilizados também se transformam em resíduo, o que indica que a quantidade é maior que no tear multifio. Em termos quantitativos, os cálculos mostram que a quantidade de resíduo em função da quantidade de chapa produzida (kg/m^2) que é gerado no tear multifio equivale à 79% do que é gerado no tear multilâmina. Além disso, na maioria das serradas são gerados casqueiros (irregularidades na largura e comprimento do bloco) que em sua grande maioria são perdidos. Quando se utiliza o tear multifio para o desdobramento do bloco, de acordo com as planilhas consideradas, essa perda equivale a aproximadamente 10% do volume do bloco, já no tear multilâmina ela corresponde a aproximadamente 15%. Em termos qualitativos há também uma grande diferença entre os resíduos gerados, já que o tear multilâmina contém resíduos metálicos dos insumos de corte que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, resíduos inexistentes na lama do tear multifio. Podemos observar tais comparações na figura 4, onde, para termos de comparação são considerados os maiores valores como 100%.

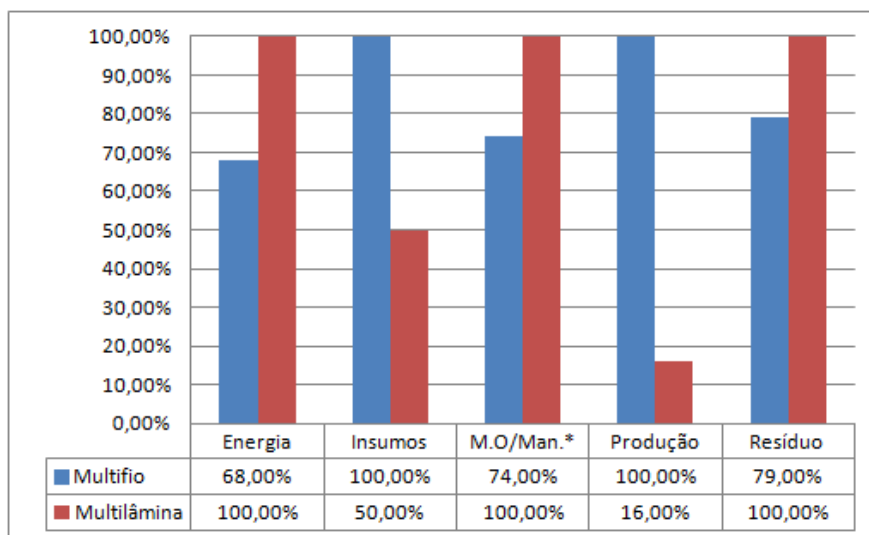


Figura 4 - Gráfico comparativo. Elaboração própria *Mão de obra e Manutenção

5.2 Análise Qualitativa

Amostras de chapas de granitos comerciais, serradas utilizando as duas tecnologias, foram coletadas para análise comparativa de rugosidade superficial. Os resultados foram comparados considerando as amostras da mesma rocha quando serradas com os dois teares. A figura 5 representa o resultado obtido

de uma amostra de chapa do granito comercial conhecido como Branco Ceará desdobrada no tear multilâmina e a figura 6 representa o resultado de uma amostra de chapa do mesmo granito desdobrada no tear multifio.

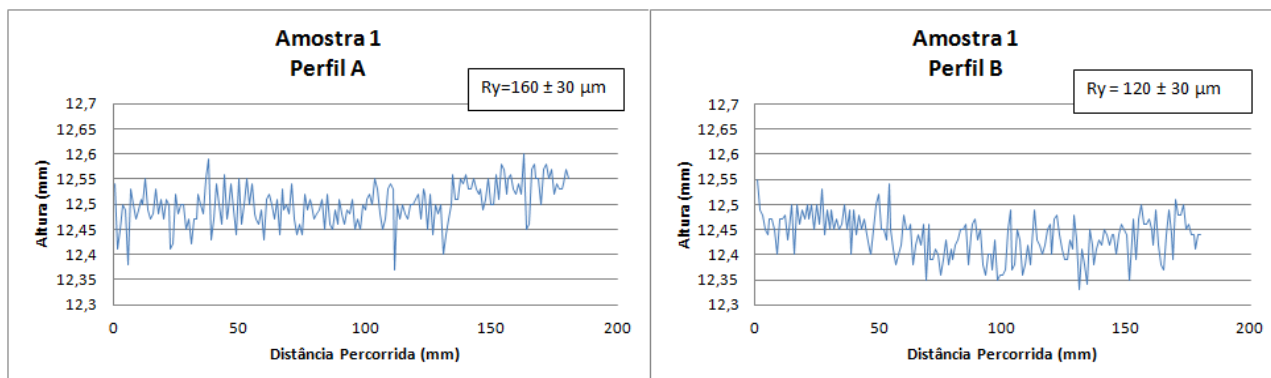


Figura 5 - Perfis de rugosidade da amostra 1. Elaboração própria.

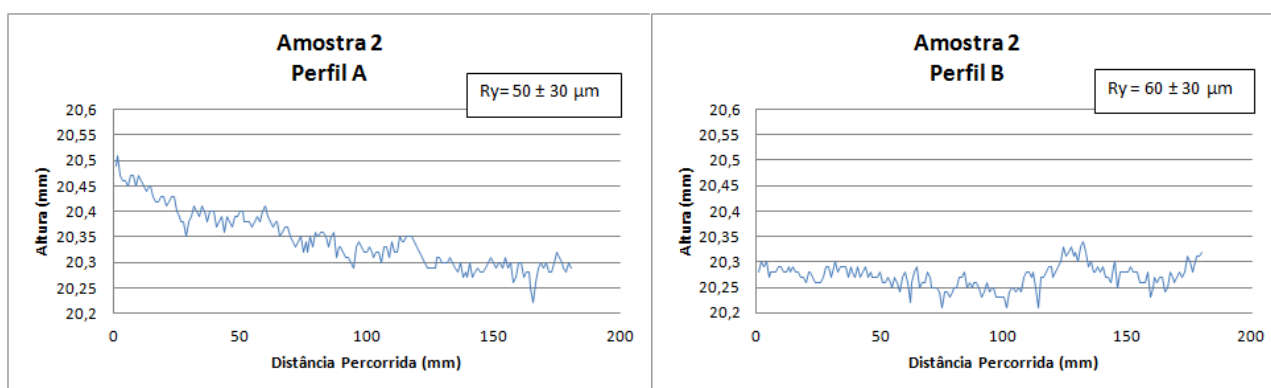


Figura 6 = Perfis de rugosidade da amostra 2. Elaboração própria.

As chapas obtidas do processo de desdobramento (serrada) dos granitos comerciais, geralmente apresentam variações na espessura, que podem ser observadas na forma das curvas dos gráficos acima, mas que não influenciam na análise de rugosidade máxima (R_y).

Observa-se que, os R_y da amostra 1, tanto no perfil A ($160 \pm 30 \mu\text{m}$) quanto no perfil B ($120 \pm 30 \mu\text{m}$) são maiores que os da amostra 2 (perfil A: $50 \pm 30 \mu\text{m}$ e perfil B: $60 \pm 30 \mu\text{m}$). Este parâmetro (R_y) indica a rugosidade máxima da superfície. Assim, como a amostra 2 apresentou menores valores de rugosidade máxima, pode-se inferir que a superfície é mais regular quando comparada à superfície da amostra 1. Nas amostras analisadas, as que foram desdobradas utilizando o tear multifio apresentaram valores de rugosidade máxima menores que as desdobradas no tear multilâmina. Esse parâmetro tem influência direta no beneficiamento secundário das chapas (polimento), onde o consumo do insumo (abrasivo) é influenciado de forma direta pela rugosidade superficial das chapas.

5.3 Análise Operacional

No desdobramento utilizando os teares multilâmina, em sua grande maioria, há uma grande dependência de mão de obra especializada visto que, por mais que a máquina faça a injeção automática de cal ou bentonita e gralha, ela não correlaciona tal processo com a viscosidade da polpa abrasiva e a quantidade de gralha ativa. Assim é necessário que o operador da máquina faça a medição da viscosidade e da gralha ativa de hora em hora, para então ajustar a quantidade de gralha e cal ou bentonita que entra no processo e a quantidade de polpa que é eliminada do processo (expurgo). Na maioria dos modelos de teares multilâmina, o tensionamento das lâminas tem que ser feito de forma

manual, o que aumenta a dependência do operador no processo. Se esses parâmetros não forem cuidadosamente monitorados, o rendimento da serrada pode ser prejudicado, bem como a qualidade do produto final obtido. Vale ressaltar que, os teares multilâmina estão se modernizando e, os modelos mais modernos podem funcionar sem a dependência do operador e o tensionamento das lâminas é mecanizado.

Já o desdobramento utilizando o tear multifio é automatizado e os parâmetros de serrada tais como: velocidade de cala, velocidade periférica e corrente nominal do motor principal são regulados pela própria máquina de acordo com a dureza do material serrado, diminuindo a dependência do operador no procedimento de serrada. A máquina possui um sistema de sensores para monitorar a operação e possui um alarme integrado que indica o funcionamento incorreto de algum mecanismo da máquina, mostrando na tela do computador a natureza do problema, o que auxilia o processo de reparo e diminui o tempo de máquina parada.

5.4 Análise de Custos Finais

Quanto aos custos finais de produção, os cálculos indicam que para materiais macios os custos finais são menores no tear multilâmina, enquanto que para materiais duros são menores no tear multifio. Essa diferença se dá pelo fato do corte no tear multifio ser mais rápido (cala maior), o que leva a um menor consumo de energia por metro quadrado de chapa serrada. Quando desdobramos um bloco de um material duro, que necessita de muitas horas de funcionamento no tear multilâmina, é mais vantajoso desdobrar no tear multifio. Mesmo com um maior custo do insumo, o menor custo de energia elétrica (devido à um menor tempo de serrada) faz com que o custo final de produção seja menor no tear multifio. Vale ainda ressaltar que, para fins de cálculos de custos finais, não foi considerado o custo de oportunidade (o que poderia ser produzido na diferença de tempo de serrada entre os dois tipos de tear). Podemos observar essa análise na figura 7.

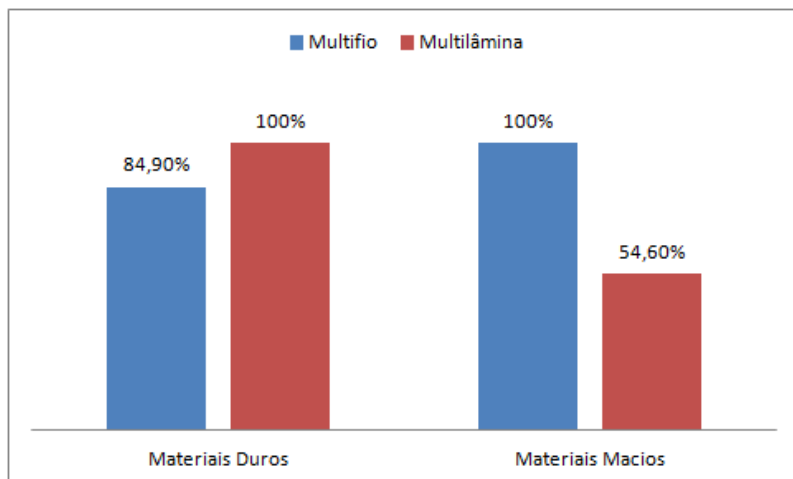


Figura 7 - Gráfico de custos finais. Elaboração própria.

5.5 Conclusão

Do estudo realizado, os resultados aqui apresentados mostram que o tear multifio apresenta um melhor desempenho quando comparado ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito à produtividade, desempenho ambiental e qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos que equivale à metade desse custo no tear multifio. Desta forma, devido principalmente ao alto custo do tear multifio, ao custo do fio diamantado e ao custo de energia elétrica, o custo final de produção é igual ou até maior que no tear multilâmina, porém sendo sua produção em torno de seis vezes maior, permite um retorno mais rápido

do investimento, gerando mais lucro para a empresa, o que nos leva a pensar que o tear multifio poderá vir a substituir o tear multilâmina nos próximos anos. De fato, as empresas fabricantes de teares convencionais vêm lançando no mercado, nos últimos anos, modelos de teares multifio.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a equipe do Centro de Tecnologia Mineral - Núcleo Regional do Espírito Santo, principalmente a: Millena Basilio, Isabela Rigão, Leonardo Cattabriga, Leonardo Silveira, Pedro Vale e Jefferson Camargo pela ajuda. Ao Sr. Manuel Correia Gonçalves da empresa Pedra Rio Mármore e Granitos e os seus funcionários: Sebastião Junior Neves, Emerson Mendes, Roberto Carlos Fortes Mendes, Sarah Sanbes, ao Sr. Ewerton Faccin da empresa Granfaccin Granitos, a Murilo Agrizzi e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CETEM, Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Nuria Castro (Núcleo Regional do Espírito Santo). Comunicação Pessoal, 2012.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço das Exportações e Importações de Rochas e de Revestimento no 1º Bimestre de 2012. São Paulo: ABIROCHAS, 2012a. 7p. (Informe n. 04/2012).

CHIODI FILHO, Cid. Estimativa da serragem de chapas de rochas ornamentais no Brasil de 2009 a 2011. São Paulo: ABIROCHAS, 2012b. 5p. (Informe n. 05/2012).

CO.FI.PLAST. Disponível em: <http://www.cofiplast.net/it>. Acessado em: 30/08/2012.

SILVEIRA, L. L. L. Polimento de rochas ornamentais. 1 ed; Um enfoque tribológico ao processo 2007. 203f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).

IMPACTOS AMBIENTAIS

ACÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOBRE OS MATERIAIS PÉTREOS

Wagner José Medeiros Ribeiro¹, Felisbela Maria da Costa Oliveira²,
Tháise Maria Fontes Kalix²

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco, IFPE
Av. Prof. Luiz Freire, 500. Cidade Universitária, Recife, PE; e-mail: wagneribiero@yahoo.com.br

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Recife, PE; e-mail: felisbela.oliveira@ufpe.br

RESUMO

A atividade antrópica tem lançado grande quantidade de poluentes na atmosfera como CO, CO₂, SO₂, NO_x, compostos orgânicos voláteis (COVs), ozônio produzido pelo “smog” fotoquímico, aerossóis contendo H₂SO₄, NH₄HSO₄, NaCl, HNO₃, HCl, ácidos orgânicos, e particulado sólido, que atuam sobre o meio ambiente e suas edificações. Mecanismos de ação destes poluentes causam o decaimento das rochas. A principal ação destes poluentes está associada à geração de ácidos a partir de processo de deposição úmida (CO₂ e NO_x, SO_x) e a seca (SO_x), combinados com água meteórica. A presença de traços de ácidos fortes HNO₃, H₂SO₄, HCl, levam as águas a pH inferiores a 5. Ácidos derivados, sulfúrico e nítrico, são formados durante o transporte da massa de ar que os contem. Nas cidades, estes ácidos agem associados, potencializando seus efeitos sobre os materiais de revestimento gerando decaimento da rocha. O significativo aumento na velocidade de decaimento do material rochoso está associado ao crescimento da quantidade de gases poluentes (CO, CO₂, SO₂, NO e NO₂) e ao aumento de temperatura provocada pelo efeito estufa. Reações como dissolução, hidrólise, óxido-redução, potencializadas pelos poluentes acima descritos, alteram a composição química e mineralógica modificando as propriedades da rocha. Dentre estas reações destacam-se aquelas onde minerais são parcial ou totalmente consumidos, caso de dissolução total por águas ácidas dos anfibólios e piroxênios; a arenização das rochas quartzo-feldspáticas, granito-gnaissóides, sulfatação em rochas carbonáticas, caulinição sofrida pelos feldspatos e feldspatóides, e a cloritização dos minerais ferromagnesianos, principalmente as biotitas. Cada poluente tem importante papel nos processos de alteração, destacando-se NO_x, SO_x e CO₂ que acidificam as águas promovendo o decaimento. A associação destes (HCl, HNO₃, H₂SO₄), notadamente por via úmida, provoca patologias (crostas negras, eflorescências) comprometendo a estrutura macro e microscópica, resistência e durabilidades das rochas empregadas nas edificações e monumentos.

Palavras-chave: Poluentes atmosféricos, material pétreo, chuva ácida, implicações ambientais, decaimento.

1. INTRODUÇÃO

Nossa atmosfera, a camada gasosa que envolve o planeta, este orbital gasoso que envolve a Terra corresponde a uma mistura de gases e vapores que se estende desde a superfície do planeta até cerca de 50 km. Pode-se, portanto, dividi-la em troposfera e estratosfera, onde a troposfera compreende a porção que se estende desde a superfície da terra até 15 km, e a estratosfera, a porção que se estende de 15 a 50 km.

De modo geral, nossa atmosfera, livre de poluentes, é constituída basicamente de uma mistura gasosa. Segundo Aires-Barros (1991), esta apresenta a seguinte composição química: Nitrogênio - 75,5 %, Oxigênio - 23,15%, Argônio - 1,28%, dióxido de Carbono - 0,016%, Neônio - 0,00125 %, Kriptônio - 0,00029%, Hélio - 0,000072%, Xenônio - 0,000036%, Hidrogênio - 0,000003, Ozônio - 0,000002% e vapor de água que se apresenta com percentual variado.

Modificações ocorrentes na composição química da atmosfera de nosso planeta não correspondem a processos recentes. A própria natureza se encarregou, por milhares de anos, de participar ativamente deste processo através de lançamento de gases e particulados provenientes de atividades vulcânicas, tempestades, e da própria ação de organismos vivos. No entanto, as atividades antrópicas, de longe, são as principais responsáveis pela acentuação destas alterações. Segundo Branco (1995), as primeiras ações antrópicas que primordiam os impactos ambientais são contabilizadas com a descoberta do fogo. Embora estas tenham tido um impacto mínimo durante muitos séculos sobre a composição química da atmosfera de nosso planeta. A queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural introduz em nossa atmosfera uma grande gama de novos compostos que alteram o equilíbrio químico da fase gasosa do planeta provocando modificações significativas no meio ambiente, nos animais, plantas e no próprio homem e em suas edificações.

Dois mecanismos principais capazes de emitir poluentes na atmosfera estão presentes. O primeiro ocorre através de processos naturais e o outro a partir da atividade antrópica que é, de longe, o principal responsável pela contaminação atmosférica. Nas emissões desencadeadas por processos naturais encontram-se os fenômenos de emissão de COVs (compostos orgânicos voláteis) pelos vegetais presentes nas florestas, as erupções vulcânicas, fonte de H₂S e SO₂, e a presença de NO₂ advinda da oxidação do material vegetal que contém nitrogênio, além dos incêndios florestais. As emissões de poluentes para atmosfera, provocadas pela ação do homem, são a queima de combustíveis fósseis e o crescimento industrial.

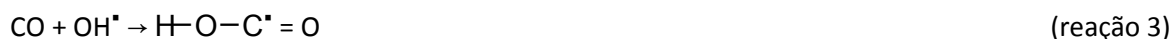
2. DISCUSSÃO

Dentre os agentes poluentes que mais tem desencadeado agressões ao meio ambiente, ao homem e aos materiais rochosos que constituem suas edificações, destacam-se os gases CO, CO₂, SO₂, e NO e NO₂, compostos orgânicos voláteis (COVs), ozônio produzido pelo “smog” fotoquímico, além de aerossóis contendo H₂SO₄, NH₄HSO₄, NaCl, HNO₃, HCl, ácidos orgânicos, e material particulado sólido. Uma das preocupações nos dias atuais, nos grandes centros urbanos, onde a presença destes poluentes é significativamente alta, relaciona-se com a ação destes sobre os materiais pétreos que constituem os monumentos e edificações; e de como os processos de decaimento do material pétreo se acentua pela presença destes poluentes. Silicatos, em particular os feldspatos, apresentam-se susceptíveis a ação destes agentes modificando-se, dando assim origem aos argilominerais. Este artigo trata da ação dos principais agentes poluidores CO, CO₂, SO₂, e NO e NO₂ (NOx) sobre os materiais pétreos.

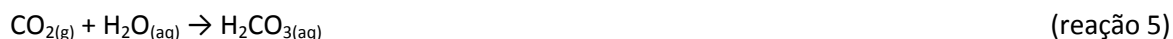
2.1 O Gás CO₂

O monóxido de carbono, um gás inodoro e incolor, origina-se a partir de reações de oxidação incompleta de compostos orgânicos, que podem se dar a partir de processos naturais (vulcanismo, atividades biológicas), ou por atividade antrópica (combustão incompleta de combustível fóssil). De longe a ação antrópica é a mais contundente, devido à grande concentração de monóxido de carbono lançada na atmosfera a partir da combustão incompleta de combustível fóssil, sendo esta alta concentração de CO resultante do mau funcionamento e baixo rendimento dos aparelhos de combustão desenvolvidos pelo homem. Segundo Baird (2002), este gás será gradativamente oxidado no ar a dióxido de carbono (CO₂) através de mecanismo complexo que envolve a sua reação com os radicais OH[•] e não por sua oxidação direta com o oxigênio diatômico. Portanto a sua oxidação envolve a disponibilidade de radicais livres OH[•] que se originam a partir da decomposição fotoquímica de quantidades traços de ozônio (reação 1) que produzem átomos de oxigênio no estado excitado. Estes por sua vez reagem com o vapor de água gerando os radicais livres OH[•] (reação 2), que reagirão com o monóxido de carbono oxidando-o a CO₂, (reações 3 e 4) conforme mecanismo abaixo:





Entretanto, a principal ação deste poluente sobre os materiais pétreos está associada a sua capacidade de gerar CO_2 , que se combina com a água e através de processo de deposição úmida, é transferido para a superfície terrestre. O CO_2 reage com a água tanto dos aerossóis quanto com a água meteórica formando ácido carbônico que rapidamente se ioniza liberando H^+ e íon bicarbonato conforme mecanismo abaixo:

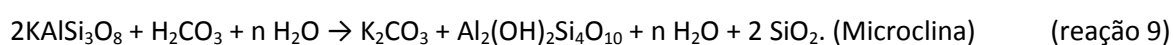


Devido a esta fonte de acidez, o pH destas soluções é inferior a 7,0, e portanto se localiza em região ácida. No caso das águas meteóricas, o pH da chuva “natural”, não poluída, é de aproximadamente 5,6. De forma que, apenas a chuva que apresenta pH inferior a 5,0 é considerada chuva ácida, Baird (2002). Esta diminuição de pH, aquém da faixa de 5,6, apresentado pelas águas, deve-se a traços de ácidos fortes que podem ser lançados na atmosfera tanto por processos naturais (vulcanismo, incêndios florestais, decomposição natural de vegetais, etc), como por ação antrópica. As erupções vulcânicas podem liberar na atmosfera quantidades apreciáveis de poluentes que geram ácidos fortes como HCl, H_2SO_4 e provocam assim chuvas ácidas temporárias. A ação antrópica, ao contrário destes eventos esporádicos, libera continuamente quantidades apreciáveis de poluentes como CO_2 , SO_2 , NO_2 de forma que os ácidos derivados destes poluentes são formados durante o transporte da massa de ar que os contem. Baird (2002) ainda assinala que as áreas mais afetadas pela ação das chuvas ácidas são constituídas de granitos e quartzo, uma vez que nestas regiões o solo tem menor capacidade de neutralizar esta acidez. Porém se as rochas são calcárias, o ácido pode ser neutralizado de maneira eficiente devido ao conteúdo de carbonato de cálcio presente no corpo rochoso que reage com a acidez conforme mecanismo abaixo:

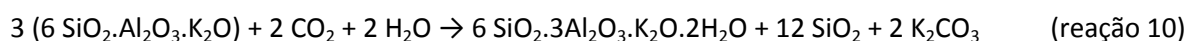


As reações acima apresentam alto rendimento, devido ao excesso de $\text{H}^+_{(\text{aq})}$, e, deste modo, corpos rochosos podem ser dissolvidos produzindo H_2O e CO_2 . Estas reações são responsáveis pela deterioração de monumentos, estátuas, e adornos confeccionados em rochas calcárias e mármore. Nas estátuas, os detalhes finos como mãos, orelhas, dedos, nariz são parcialmente ou totalmente perdidos pela ação das chuvas ácidas. A ação das águas acidificadas pela dissolução de gases poluentes como CO_2 , SO_2 , e NO e NO_2 sobre os granitos, provocam alteração dos feldspatos e feldspatóides presentes no corpo rochoso, levando à sua caulinização.

Quando a água meteórica dissolve em seu interior gases como CO_2 , SO_2 e NO_2 , provenientes da atmosfera, promovendo a formação de ácidos carbônico, sulfúrico e nítrico respectivamente, que podem atuar sobre os minerais presentes no material rochoso promovendo sua alteração. Abaixo se observa uma reação desencadeada pela ação do ácido carbônico sobre o mineral microclina (feldspato) gerando argilomineral:

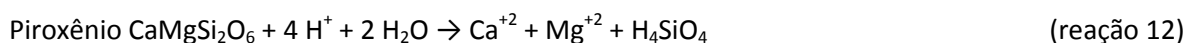


Ou de modo mais detalhado como abaixo:



Este processo denominado de caulinição afeta os feldspatos das rochas graníticas gerando um produto baço, pulverulento, brando, desagradável. Segundo Frazão e Paraguassu (1998), este processo de alteração intempérica é observado nas rochas graníticas, onde a ação dos ácidos sobre os feldspatos promove a caulinição dos mesmos e por conseqüência a desagregação do material rochoso em material areno-argiloso. Os feldspatos são minerais essenciais presentes nos “granitos” e resultam da associação de dois ou três silicatos, um silicato de alumínio que se encontra associado a outro silicato alcalino ou alcalino-terroso. De forma que as águas meteóricas promovem a hidratação dos feldspatos. Os silicatos anidros de alumínio e do metal alcalino se hidratam e se separam. As águas meteóricas contendo em geral gases dissolvidos como CO₂, SO₂, NO₂, produzem ácidos que então reagem com os feldspatos promovendo a sua caulinição.

Assim, diversas alterações podem ser observadas nos corpos rochosos devido à ação de águas acidificadas. Estas águas acidificadas promovem reações de hidrólise, uma substituição dos cátions da estrutura do mineral pelos íons de hidrogênio, de modo que esta reação de substituição iônica pode resultar na formação de novos e diferentes minerais ou pode levar a total desintegração do mineral original como se pode observar no caso de olivinas e piroxênios conforme a reação abaixo (reação 11 e 12), nestes casos diz-se que a hidrólise foi total:



Ou como no caso dos feldspatos que sofrem caulinição conforme descrito anteriormente.

As reações de hidrólise são fortemente influenciadas pelo clima devido à variação da concentração de água disponível, e da temperatura. Desta forma, nas regiões tropicais úmidas, os materiais pétreos estão mais susceptíveis aos fenômenos de alitização, bauxitização e ferralitização, de modo que a sílica e as bases são removidas, concentram-se a alumina e os óxidos de ferro. Nas regiões sub-úmidas ocorre uma maior susceptibilidade a monossilicização com remoção das bases e parte da sílica, formando-se a caulinita. Nas regiões temperadas, estépicas e sub-áridas há a predominância da bissialicização e em parte arenização do material rochoso. Nessas regiões, a fraca remoção da sílica e retenção parcial dos cátions básicos como K⁺, Na⁺, Ca⁺².

Outras alterações no material pétreo podem ser observadas devido a presença destes poluentes, como no caso do oligoclásio, mineral silicatado da família dos feldspatos cálcio-alcalinos, e a nefelina, também um mineral silicatado do tipo feldspatóide, são sensíveis a ácidos notadamente o HCl. Os minerais máficos (escuros) são mais alteráveis por oxidação que os minerais félsicos (claros), salientando-se que o hiperstênio, mineral máfico da família dos piroxênios e constituinte dos charnockitos (granitos verdes tipo Ubatuba), degrada-se por insolação e modifica o padrão cromático da rocha. As reações tanto decorrentes de oxidação como de ataque ácido podem ocorrer simultaneamente aumentando ainda mais a capacidade de alteração do material pétreo.

Os sulfetos, minerais metálicos que ocorrem como acessórios, tanto em mármore quanto em granitos, serpentinitos e quartzitos, não só se oxidam, mais ou menos rapidamente, quando expostos às condições atmosféricas, mas também reagem com ácidos que promovem sua dissolução e conseqüente acidificação do meio pela formação de H₂S. Deste modo, constitui-se em um dos principais problemas das rochas de revestimento. As emissões de NO_x e SO₂ também são responsáveis direta ou indiretamente pela maior parte de outros poluentes secundários, gerados a partir de reações, onde estes gases estão envolvidos.

2.1 O Gás SO₂

O SO₂, um gás incolor de odor picante e irritante, com o dobro da densidade do ar, pode se depositar tanto por processo de deposição líquida como sólida. Se combinado com a água meteórica e dissolvido

nesta, produz ácido sulfúrico, provocando chuva ácida. Aires-barros (2001), Baird (2002), Dionísio et al. (2004) assinalam que a oxidação do SO₂ na atmosfera a ácido sulfúrico (H₂SO₄) pode se dar através de dois mecanismos distintos, um em fase gasosa e outro em fase aquosa. O mecanismo em fase gasosa se desenvolve em dias de céu limpo e com nuvens ocupando pequena percentagem de volume troposférico, enquanto a oxidação em fase aquosa se dá devido à solubilidade do gás SO₂ na água. Esta oxidação em fase gasosa apresentaria o possível mecanismo abaixo:



Ao passo que a oxidação em fase aquosa do SO₂ a SO₄⁻² seria efetuada por quantidades traços de agentes oxidantes bem conhecidos como H₂O₂, e O₃ presentes nas gotas transportadas no ar, onde H₂O₂ e O₃ seriam resultantes principalmente de reações induzidas pela luz solar no “smog” fotoquímico, Baird (2002).

2.2 Os Gases NO e NO₂ (NO_x)

O NO_x, uma combinação de NO[•] e NO₂, são espécies que se originam principalmente da queima de combustível fóssil nos motores de explosão e de algumas indústrias. Estes compostos são poluentes primários e fundamentais para a geração de HNO₃ a partir do fenômeno denominado de “smog” fotoquímico. Este fenômeno corresponde ao resultado de reações complexas que se desenvolvem, no nível da troposfera, entre os diversos compostos na maior parte gasosos. Estas reações levam a formação de produtos intermediários e produtos finais sendo todos extremamente danosos ao homem, plantas, animais, afetando também os materiais. Este conjunto de reações envolve a participação dos compostos NO[•] e NO₂, compostos orgânicos voláteis (COVs), e o gás oxigênio (O₂). De forma simplificada, pode-se traduzir este fenômeno pela equação: COVs + NO_x + O₂ → → mistura de O₃, HNO₃ e compostos orgânicos parcialmente oxidados. No entanto, este processo é bem mais complexo e envolve ainda a participação de particulados em suspensão, da luz, e de temperaturas moderadamente elevadas, além de exigir pouco movimento das massas gasosas de forma a garantir as condições adequadas para as reações se processarem.

O ácido nítrico formado por este processo tem como característica principal ser um ácido forte e também oxidante. O processo de formação não se dá pela oxidação direta do NO[•] pelo oxigênio do ar, mas sim por reação com radicais Hidroxila (HO[•]), produzidos a partir da reação do produto de decomposição do ozônio com a água (conforme reação 20 e 21), ou mesmo pela decomposição do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (reação 22), presente no “smog” fotoquímico conforme as reações abaixo:



Sendo o radical hidroxila o principal agente na remoção química, por oxidação, da maior parte dos gases menores da troposfera, estabilizando sua composição e evitando acúmulo de muitas espécies que podem interferir na estabilidade da camada de ozônio da estratosfera, Aires-Barros (1991; 2001).

O ácido nítrico formado no “smog” fotoquímico, apresenta uma taxa de deposição que é relativamente independente da umidade do ar, o que o torna especialmente importante em climas secos e quentes, Dionísio et al. (2004).

O decaimento promovido pelos óxidos de nitrogênio, notadamente NO^{*} e NO₂, torna-se difícil de ser observável, uma vez que, os produtos formados apresentam elevada solubilidade em água (341g/100g de água a 25°C). Diversos autores como Aires -Barros (2001), Dionísio, A. et al (2004), Baird (2002), assinalam a possibilidade de vários mecanismos de decaimento para o ataque destas espécies ao material pétreo. Um destes seria através da deposição a seco do NO₂ com posterior adsorção deste à superfície do material pétreo, conforme a equação:



Outro mecanismo se tornaria possível quando concentrações elevadas de ozônio (O₃) e NO₂ estivessem presentes. Neste caso ter-se-ia a formação do pentóxido de nitrogênio (N₂O₅) que reagiria com água formando ácido nítrico através do seguinte mecanismo:



O N₂O_{5(ads)} formado apresenta a possibilidade de dois mecanismos de ação. No primeiro, o N₂O₅ combina-se com a umidade do ar gerando ácido nítrico conforme a reação abaixo:



Outro mecanismo se daria por adsorção a seco ou a úmido, à superfície do material pétreo. A seco, o N₂O₅ combina-se com o SO₂ gasoso e com a água gerando assim ácido sulfúrico e NO₂ conforme a reação:



No mecanismo de adsorção a úmido, o HNO_{3(ads)} combina-se com a água da umidade do ar gerando ácido nítrico líquido conforme reação:



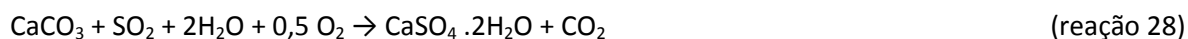
Nos monumentos situados próximos à região litorânea, notadamente aqueles próximos ao mar, deve-se considerada a ação do íon cloro que provem, fundamentalmente, da névoa salina e aerossóis transportados pelo vento e que é rica em sais marinhos notadamente NaCl. O ácido clorídrico pode ser gerado a partir de reação do cloreto de sódio marinho com ácido sulfúrico obtido da oxidação do SO₂ segundo a reação:



Este fato está diretamente associado à ocorrência do mineral thenardita (Na₂SO₄), presente nas eflorescências salinas dos monumentos e edificações construídos nesta região próxima ao mar. Nos monumentos em pedra calcária, edificados em regiões litorâneas, nota-se a presença, nestas eflorescências, do mineral antarctita (CaCl₂ · 6H₂O) que se gera de acordo com a reação abaixo, Aires Barros (1991):



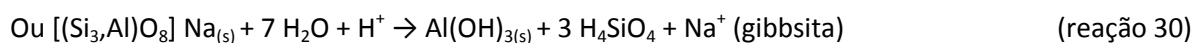
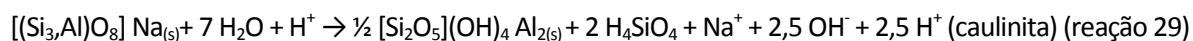
Portanto, a ação destes poluentes atmosféricos e de alguns dos seus produtos formados, atua diretamente sobre o material pétreo provocando decaimento da rocha. Nos materiais rochosos constituídos por pedra calcária, ocorre o fenômeno de sulfatação, com formação em geral, de gipsita, que se deposita na superfície do material pétreo. Segundo autores como Aires-Barros (1991; 2001), Dionísio et al. (2004) a equação que traduz a reação de sulfatação dos calcários promovida pelas águas pluviais pode ser escrita como abaixo:



Embora, o mecanismo de ação de transformação de rocha são em $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ainda não esteja totalmente esclarecido, pode-se perceber a presença fundamental de três processos distintos. No primeiro mecanismo ocorreria a deposição a úmido, que se daria por oxidação heterogênea do SO_2 na fase aquosa na atmosfera, ou sobre a superfície das rochas. O segundo mecanismo ocorreria por oxidação homogênea do SO_2 em aerossol de sulfato, realizada na troposfera, e o terceiro mecanismo corresponde ao processo de deposição a seco do SO_2 , Aires-Barros (1991).

Segundo Aires-Barros (1991, 2001), Baird (2002), nas atmosferas poluídas o nevoeiro fotoquímico supõe oxidação atmosférica dos COVs, gerando espécies fotoquímicas que desempenham papel importante na oxidação do SO_2 , conforme descrito anteriormente. Nestes casos a oxidação homogênea do SO_2 é significativa. Em um primeiro estágio a oxidação do SO_2 nas atmosferas urbanas contaminadas gera partículas sulfatadas que podem se dissolver nas gotículas de vapor de água e serem depositadas na superfície dos monumentos. Em segunda fase, o nevoeiro sulfatado com gotículas de ácido sulfúrico, atuará sobre a superfície das pedras calcárias, dando origem a crosta gipsífera mais ou menos desenvolvida, Aires-Barros (1991), Dionísio et al (2004).

Com relação às rochas quartzo-feldspáticas, granito-gnaissóides, o principal fenômeno de decaimento observado pela ação destes poluentes é a arenização com concomitante enfraquecimento das ligações físicas. Este fenômeno permite a ocorrência de processos de esfoliação e escamação, além de modificações químicas importantes como argilização dos feldspatos e cloritização dos minerais ferromagnesianos, em especial as biotitas. A presença destes ácidos provoca diminuição do pH da água pela presença de íons H^+ , acelerando assim as reações de hidrólise e oxido-redução. O processo de meteorização dos aluminossilicatos presentes nestes materiais pétreos supõe normalmente dissoluções acompanhadas de formação de precipitados de modo que a dissolução de feldspatos é acompanhada de precipitação de caulinita ou de hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ conforme as reações abaixo:



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rochas são um dos materiais mais utilizados pelo homem desde tempos remotos tanto pelo seu padrão de beleza como pela resistência e durabilidade. No entanto as modificações climáticas, desencadeadas por ação antrópica, vem provocando severas alterações na durabilidade e resistência destes materiais, tornando-os mais susceptíveis à desagregação.

Os materiais pétreos têm estado sob ação constante das modificações da atmosfera do Planeta e, como sistemas químicos que são, tem reagido a estas através de processos que geram o decaimento da rocha. Estes processos de decaimento, embora natural, e de baixa velocidade, tem apresentado significativo aumento na velocidade de suas reações pela presença de gases poluentes como CO , CO_2 , SO_2 , NO e NO_2 , compostos orgânicos voláteis (COVs), ozônio e aerossóis, material particulado sólido, e pelo aumento de temperatura provocado pelo efeito estufa. Envolvendo uma série de reações como dissolução, hidrólise, oxido-redução que se desencadeiam no material pétreo culminando com alteração da composição química e mineralógica que, por conseguinte, alteram as propriedades e características do material rochoso, promovendo seu decaimento. Cada poluente tem desempenhado importante papel neste processo de alterabilidade, destacando-se entre estes o CO_2 que além de ter papel na acidificação das águas, também eleva a temperatura e favorece a velocidade de algumas reações químicas.

Dentre as reações desencadeadas pela ação destes poluentes sobre o material rochoso destacam-se aquelas onde minerais são parcial ou totalmente consumidos, como no caso de dissolução total por águas ácidas dos anfíbios e piroxênios, assim como os processos de arenização sofridos pelas rochas quartzo-feldspáticas, granito-gnaissóides, de sulfatação em rochas carbonáticas, e de caulinitização,

sofrido pelos feldspatos e feldspatóides, assim como da cloritização dos minerais ferromagnesianos, em especial as biotitas.

A compreensão da ação destes agentes poluentes e de seus mecanismos de ação que atuam sobre os materiais pétreos, objetiva prevenir com antecedência, a ocorrência de futuras patologias das rochas tão largamente empregadas nas edificações e monumentos de nossa cultura.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aires-Barros, L. (1991). Alteração e alterabilidade das rochas, Lisboa, INIC, 384p.

Aires-Barros, L. (2001). "As rochas dos monumentos portugueses. Tipologia e patologias". Volume 1. Lisboa. Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico. 590p.

Baird, Colin (2005). Química ambiental. 2ª ed.

.Branco, S. M. (1995). Poluição do ar. 1ª edição. Editora Moderna. São Paulo, ISBN 85-16-01213-1.

Dionísio, A., Aires-Barros, L., Basto, M. J. (2004). A degradação das rochas do patrimônio cultural construído: o caso das rochas carbonatadas, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, volume 93, p. 61-68.

Frazão, Ely Borges; Paraguassu, Antenor Braga (1998). Materiais rochosos para a construção. In: Oliveira, Antônio Manuel dos Santos, Brito, Sergio Nertan Alves de (Organizadores). Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 331-342.

Petrucci, E. G. R. (1998). Materiais de Construção. 11 edição. Editora Globo, São Paulo, 435p.

CLASSIFICAÇÃO DA LAMA ABRASIVA DO BENEFICIAMENTO DE GRANITO, CONFORME A ABNT NBR 10.004/2004

A.P.A. Silva¹, A.A.P.Sousa², D.F. Oliveira, N.O. Santiago, E.M. Sales

¹Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba
Rua Baraúnas, 351, Campina Grande, PB, 58429-500. e-mail: aldreanyuepb@gmail.com

²Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba
Rua Baraúnas, 351, Campina Grande, PB, 58429-500. e-mail: aauepb@gmail.com

RESUMO

A indústria de rochas ornamentais no Brasil tem apresentado nos últimos anos um grande crescimento, gerando riquezas e empregos. Este setor caracteriza-se principalmente na extração e beneficiamento de rochas, tais como granito, mármore, entre outras. As rochas ornamentais são materiais especialmente usados em construções, monumentos, arquitetura e escultura. O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo. O sistema de desdobramento de blocos de rochas para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos na forma de polpa, que em sua grande maioria é lançada em lagoas de decantação e aterros. Além da contaminação direta dos aquíferos superficiais, os rejeitos da indústria de rochas ornamentais descaracterizam a paisagem e preocupam as autoridades públicas, órgãos sanitários e a população localizada no entorno das serrarias e áreas da extração. Este trabalho de pesquisa teve como objetivo classificar e estudar a lama abrasiva oriunda do desdobramento de rochas ornamentais do estado da Paraíba, conforme norma NBR 10.004/2004, na caracterização o resíduo analisado não é considerado Classe I – Perigoso, no entanto o extrato do ensaio de solubilização desta amostra indicou que a concentração de Alumínio é superior ao limite definido e, portanto, o resíduo é classificado como CLASSE II – Não Inerte. Diversos estudos para aplicação dos resíduos de indústria de beneficiamento de rochas ornamentais têm sido realizados, para a utilização do rejeito em materiais alternativos, por exemplo, a incorporação do rejeito juntamente com a bentonita no processo de pelletização e fabricação de areia sanitária para gatos.

Palavras-chave: Impacto ambiental, beneficiamento, caracterização.

1. INTRODUÇÃO

O setor de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil tem apresentado nos últimos anos grande crescimento, gerando riquezas e empregos. O setor é baseado principalmente na extração e beneficiamento de rochas, tais como granito, mármore, entre outras. As rochas ornamentais são materiais especialmente usados em construções, monumentos, arquitetura e escultura. O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo (MERCADO, 1990).

O setor de rochas ornamentais envolve diversos processos de beneficiamento, sendo fonte geradora de enormes quantidades de rejeitos. Segundo Ribeiro *et al.* (2007) os rejeitos podem ser classificados em dois tipos: Rejeitos grossos, gerados no momento da obtenção do bloco, ou também das aparas ou rebarbas geradas no momento do corte das chapas; e os rejeitos finos, que são gerados pelo material retirado pelas lâminas ou discos de serra no momento do corte dos blocos de modo a gerar os produtos de interesse (chapas, pisos, peças, etc.).

A preocupação com o meio ambiente tem sido tema de muitas discussões, preocupação de muitos empresários, devido ao destino dos seus rejeitos das atividades de suas indústrias. A sociedade cobra dos governos ações que freiem a poluição ambiental. Porém em termos de poluição a indústria é uma fonte principal, devido a cada indústria produzir rejeitos de suas atividades todos os dias. A preocupação atual é justamente o destino final deste rejeito. Porém com a eficiência das novas tecnologias que apagam as atividades industriais, esse problema vem ganhando solução e, esse cenário de poluição

ambiental vem sendo modificado. Um fator importante que impulsiona essa mudança é a exigência do mercado, que além de querer produtos com alta qualidade querem que os mesmos atendam as exigências ambientais.

No setor de beneficiamento de rochas ornamentais o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais. A potencialidade brasileira em rochas ornamentais, principalmente em relação aos granitos é extraordinária, devido às amplas regiões do território que compreendem afloramentos pré-cambrianos. A potencialidade geológica do país pode ser comprada, no nível mundial, somente às da China e da Índia (JÚNIOR, 2001).

No processo de beneficiamento de rochas ornamentais é gerado grande volume de resíduos. Na transformação do bloco em chapas é geradas elevadas quantidades de rejeitos da lama abrasiva, composta basicamente de água, granalha (aço), cal e rocha moída. (WASHINGTON, MONICA; 2011).

O principal impacto e passivo ambiental das indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais é a lama abrasiva, rejeito do corte dos blocos, que a cada dia são produzidos mais e mais rejeitos e são depositados em aterros sem previsão de uso.

O objetivo do trabalho foi caracterizar e estudar a lama abrasiva oriunda do beneficiamento de granitos das indústrias deste setor localizadas na região Nordeste do Brasil, com a finalidade de obtenção de melhores eficiências no desdobramento de granito destas empresas, pois está diretamente ligada à composição e a concentração dos componentes da mistura abrasiva (lama abrasiva).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O termo “rochas ornamentais” refere-se “[...] as rochas que podem ser extraídas em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e que têm suas faces beneficiadas por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento” (DESCHAMPS et al., 2002). São considerados dentro deste grupo os mármore, travertinos, granitos, ardósias, quartzitos, serpentinitos, basaltos, pedrasabão e outros (DA SILVA; AMARANTE; SEIXAS. 2003).

Segundo Silva (1998) o beneficiamento dessas rochas envolve as etapas de desdobramento, polimento e corte/acabamento. O desdobramento consiste na serragem de blocos em chapas por meio de equipamentos denominados teares. A segunda etapa é o polimento de chapas brutas, advindas do processo de desdobramento realizadas em equipamentos denominados politizes.

O rejeito de lama abrasiva proveniente do desdobramento de granito em sua grande maioria é lançado em lagoas de decantação e aterros. Além da contaminação direta dos aquíferos superficiais, os rejeitos da indústria de rochas ornamentais descaracterizam a paisagem e preocupam as autoridades públicas, órgãos sanitários e a população localizada no entorno das serrarias e áreas da extração (SOUZA et. al., 2010).

2.1 Resíduos oriundos do desdobramento de granito

O processo produtivo das rochas ornamentais envolve complexidade desde a exploração das jazidas, passando pelo beneficiamento (serragem e polimento) até o armazenamento e o transporte. Em todos os sistemas produtivos sempre existem causas e impactos sobre o meio ambiente (água, ar e solo).

O beneficiamento de rochas ornamentais refere-se ao desdobramento de materiais brutos, extraídos nas pedreiras em forma de blocos. Os blocos são beneficiados, sobretudo através da serragem (processo de corte) em chapas com espessuras que variam de 1 a 3 cm, por máquinas denominadas teares, para posterior acabamento e esquadrejamento até sua dimensão final (SOUZA e RODRIGUES, 2002).

2.1 Resíduos Sólidos

Segundo a definição das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os Resíduos Sólidos Industriais:

São todos os resíduos no estado sólido ou semi-sólido, resultantes das atividades industriais, ficando incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso soluções técnicas e economicamente viáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

As normas brasileiras que classificam os resíduos sólidos são:

- Norma ABNT NBR 10.004: 2004, “Resíduos Sólidos”.
- Norma ABNT NBR 10.005: 2004 “Lixiviação de Resíduos”.
- Norma ABNT NBR 10.006: 2004 “Solubilização de Resíduos”.
- Norma ABNT NBR 10.007: 2004 “Amostragem de Resíduos”.

2.1.1 Classificação de Resíduos Sólidos Industriais

- **Classe I – Perigosos:** aqueles que sós ou em mistura, dependendo de características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade “[...] podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para aumento da mortalidade ou incidência de doenças, e que apresentam riscos ao meio ambiente...” quando seu manejo ou disposição não é a adequada. (SILVA, 2002).
- **Classe II – Não Inertes:** sós ou misturados que não se enquadram na Classe I ou na Classe III. São combustíveis, biodegradáveis e solúveis em água.
- **Classe III – Inertes:** aqueles que sós ou em mistura e submetidos ao ensaio de solubilização NBR 10.006 “[...] não apresentarem quaisquer de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, conforme a listagem nº 8 da NBR 10.004”, exceto em aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos sólidos tornam-se perigosos, segundo a NBR 10.004, pela sua:

- Inflamabilidade,
- Corrosividade,
- Reatividade,
- Toxicidade, e
- Patogenicidade.

Durante a serragem, em teares tradicionais de lâminas de aço, gera-se um resíduo sólido proveniente da lama ou polpa abrasiva utilizada com os objetivos de lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar os canais entre chapas e servir como abrasivo para facilitar a serragem. Essa lama abrasiva é composta basicamente de água, granalha (mini-esferas de aço ou ferro fundido), cal ou substituintes (bentonita) e rocha moída (GONÇALVES, 2000).

As Figuras de 1 a 2 apresentam as diversas partes do processo de desdobramento de granito em teares convencionais.



Fonte: própria (2010)

Figura 1 - Tear convencional



Fonte: própria (2010)

Figura 2 - Tear de multifio

A lama abrasiva é distribuída por chuveiros sobre o bloco por meio de bombeamento. Após infiltrarem-se nos canais abertos pelas lâminas no bloco, a lama retorna ao tanque de bombeamento, quando novamente é bombeada, configurando-se assim uma operação em circuito fechado (CALMON et al., 1997).

A Figura 3 apresenta o tanque de bombeamento utilizado no controle da composição da mistura, que fica localizado abaixo do tear, onde a lama abrasiva de menor granulometria é descartada, e a outra parcela da lama é submetida à recirculação. A partir desse descarte, a lama será transportada por uma canaleta para ser depositada em um poço e posteriormente bombeada para os tanques de disposição final, que podem apresentar as mais variadas formas e dimensões (PEDROSA, 2000).



Fonte: própria (2011)

Figura 3 - Tanque de bombeamento da lama abrasiva.

Algumas empresas utilizam sistemas de desidratação, como o filtro-prensa, que consiste em um processo de prensagem que elimina da lama abrasiva o excesso de água e devolve à indústria esta mesma água para ser reutilizada e o resíduo úmido obtido é então descartado (CALMON et al., 1997). A partir deste descarte, o resíduo é transportado e, posteriormente, depositado em poços e lançados em tanques de deposição final, estes tanques absorvem toda a geração de rejeito do desdobramento. Uma vez cessada esta capacidade, o volume depositado é removido para que o tanque fique novamente pronto para estocagem de nova quantidade de rejeito.

2.3 lama abrasiva

No beneficiamento primário, estima-se uma perda de 20 a 30% do volume dos blocos, transformado em lama (REJEITOS, 1998, p. 1 apud VIEIRA et al., 2003).

Essa lama usada no tear tem como principais objetivos: lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo ao abrasivo e limpar os canais entre as chapas. Sendo composta por água, granalha (aço), cal e rocha moída, sendo distribuídas por chuveiros sobre o bloco através de bombeamento (SILVA, 1998 apud MOURA, LEITE; 2011).

Segundo Freire et al. (2009) seguem os componentes da composição da lama, com suas respectivas especificações:

- Água: solvente e refrigerante da mistura, a variação de sua porcentagem influi diretamente na densidade e na viscosidade da lama;
- Cal: lubrificante podendo ser adicionada á água. É tida como antiferrugem por ter caráter básico, como espessador por aumentar a viscosidade da mistura e conseqüentemente a suspensão da granalha e como detergente por permitir a remoção de partículas desagregadas;
- Pó de pedra: elemento desagregado durante a serrada, variando de pedra pra pedra influenciando diretamente na densidade da lama;
- Granalha: fragmentos de ferro ou aço sendo encontrados em diferentes granulometrias e no formato esférico ou angular, responsável pela desagregação da pedra.

Essa lama, geralmente é descartada inadequadamente, afetando esteticamente a paisagem, além de acarretar custos de armazenamento e poluição ambiental (JÚNIOR; 2001). Considerando a enorme quantidade de resíduo gerado no beneficiamento de rochas ornamentais e a poluição ambiental que os mesmos geram, estão sendo estudados materiais alternativos onde possa haver a incorporação dessa lama.

Segundo Jardel (2000) a incorporação de resíduos na produção de materiais pode reduzir o consumo de energia para a produção do mesmo produto sem resíduos, e pode, dependendo de onde esteja localizado o resíduo e seu mercado consumidor potencial, reduzir distâncias de transporte e contribuir para redução da poluição.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizados resíduos sólidos provenientes do desdobramento de rochas ornamentais das indústrias de beneficiamento do Nordeste - para diversas aplicações como matéria-prima de materiais alternativos.

Atualmente existem quatro indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais no Nordeste. Estas foram implantadas no início da década de 90 com tecnologia de ponta.

3.1 Caracterização da Lama Abrasiva

As amostras dos resíduos sólidos identificados como Saída do Filtro Prensa - Antes do Descarte da empresa I e da empresa II foram encaminhadas para os laboratórios do SENAI-CIC para realização de ensaios e posterior classificação segundo a NBR 10.004/2004, sendo recebidas pelos laboratórios sob nº 1766/11 e 1767/11 respectivamente.

Os elementos/substâncias a serem analisados estão relacionados ao processo de geração do resíduo, por isso da necessidade de informações sobre o processo, insumos e matérias-primas que estão envolvidos diretamente a este processo de geração do resíduo. A classificação dos resíduos é muito

importante para o estabelecimento de procedimentos de manuseio, armazenamento, transporte e para a definição do sistema de tratamento/disposição adequados.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando informações da empresa referente à origem do resíduo procedeu-se aos ensaios de lixiviação e de solubilização e a caracterização dos extratos obtidos, sendo que os resultados destas caracterizações encontram-se na Tabela 1 e 2.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados das caracterizações dos extratos da lixiviação e da solubilização da amostra de resíduo sólido da empresa I e da empresa II.

Tabela 1 - Caracterização dos extratos da lixiviação e da solubilização da amostra de resíduo sólido da empresa I.

Parâmetro	Amostra 1766/2011	Limites da NBR 10.004/04
Caracterização Amostra Bruta		
pH em água (1:1)	11,76	2,0-12,5
Umidade à 105°C	25,05 %	-----
Caracterização Lixiviado		
Bário	0,65 mg/L	70,00 mg/L
Cádmio	< 0,10 mg/L	0,50 mg/L
Chumbo	< 0,50 mg/L	1,00 mg/L
Cromo Total	0,07 mg/L	5,00 mg/L
Caracterização Solubilizado		
Cloretos	12,50 mg/L	250,00 mg/L
Sulfato	16,58 mg/L	250,00 mg/L
Alumínio	0,50 mg/L	0,20 mg/L
Bário	< 0,50 mg/L	0,70 mg/L
Cádmio	< 0,0005 mg/L	0,005 mg/L
Chumbo	< 0,005 mg/L	0,01 mg/L
Cobre	< 0,10 mg/L	2,00 mg/L
Cromo Total	< 0,05 mg/L	0,05 mg/L
Ferro	< 0,10 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	< 0,10 mg/L	0,10 mg/L
Prata	< 0,05 mg/L	0,05 mg/L
Sódio	29,25 mg/L	200,00 mg/L
Zinco	< 0,10 mg/L	5,00 mg/L

Fonte: SENAI CIC, 2011

Avaliando os resultados analíticos da Tabela I verifica-se que o extrato da lixiviação atende aos limites definidos pelo anexo F da NBR 10.004/04 e, portanto, o resíduo analisado não é considerado Classe I-Perigoso. No entanto, o extrato do ensaio de solubilização desta amostra indicou que a concentração de Alumínio é superior ao limite definido pelo Anexo G da Norma NBR 10.004/04 e, portanto, o resíduo "Saída do Filtro prensa _ Antes do Descarte" da empresa I é classificado Classe II A- Não Inerte.

Tabela 2 - Caracterização dos extratos da lixiviação e da solubilização da amostra de resíduo sólido da empresa II.

Parâmetro	Amostra 1767/2011	Limites da NBR 10.004/04
Caracterização Amostra Bruta		
pH em água (1:1)	11,62	2,0-12,5
Umidade à 105°C	19,53%	-----
Caracterização Lixiviado		
Bário	0,73 mg/L	70,00 mg/L
Cádmio	< 0,10 mg/L	0,50 mg/L
Chumbo	< 0,50 mg/L	1,00 mg/L
Cromo Total	< 0,05 mg/L	5,00 mg/L
Caracterização Solubilizado		
Cloretos	15,33 mg/L	250,00 mg/L
Sulfato	31,30 mg/L	250,00 mg/L
Alumínio	0,43 mg/L	0,20 mg/L
Bário	< 0,50 mg/L	0,70 mg/L
Cádmio	< 0,0005 mg/L	0,005 mg/L
Chumbo	< 0,005 mg/L	0,01 mg/L
Cobre	< 0,10 mg/L	2,00 mg/L
Cromo Total	< 0,05 mg/L	0,05 mg/L
Ferro	< 0,10 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	< 0,10 mg/L	0,10 mg/L
Prata	< 0,05 mg/L	0,05 mg/L
Sódio	24,75 mg/L	200,00 mg/L
Zinco	< 0,10 mg/L	5,00 mg/L

Fonte: SENAI CIC, 2011

Avaliando os resultados analíticos da Tabela II verifica-se que o extrato da lixiviação atende aos limites definidos pelo anexo F da NBR 10.004/04 e, portanto, o resíduo analisado não é considerado Classe I-Perigoso.

No entanto, o extrato do ensaio de solubilização desta amostra indicou que a concentração de Alumínio é superior ao limite definido pelo Anexo G da Norma NBR 10.004/04 e, portanto, o resíduo "Saída do Filtro Prensa - Antes do Descarte" da empresa II é classificado Classe II A - Não Inerte.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa foi possível concluir que na caracterização dos resíduos das empresas de beneficiamento de granito localizadas na região Nordeste do Brasil, os resíduos analisados não são considerados Classe I – Perigoso.

No entanto, as amostras de resíduos de granitos submetido ao ensaio de solubilização indicou que a concentração de Alumínio é superior ao limite definido pelo Anexo G da Norma NBR 10.004/2004 e, portanto, o resíduo da Saída do Filtro Prensa (antes do descarte) é classificado como CLASSE II – Não Inerte.

Comportamento similar deve ocorrer provavelmente com todos os rejeitos das indústrias de beneficiamento com desdobramento em tear convencional de blocos de granito para produção de chapas. Foram realizadas apenas testes com amostras pontuais sendo necessária a realização de novos testes.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

DA SILVA, Luiz. M; AMARANTE, Maria Lúcia; SEIXAS, Elisa. **Rochas Ornamentais: Exportações Promissoras**. Rio de Janeiro, 2003.

CALMON, J.L; TRISTÃO, F.A; LORDÉLLO, F. S. S; SILVA, S.A. **Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Anais. Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

DESCHAMPS, Eleonora; MAIA J, Braz.; SCALAMBRINI, Celso; VIEIRA, Maria; SCHWABE, Wilfrid; DE CARVALHO, Carlos A.; PEREIRA, Marco A.; LOPES, Cláudio. **Controle Ambiental na Mineração de Quartzito Pedra São Tomé**. Belo Horizonte, 2002.

FREIRE, L. C., **Utilização de Resíduos Oriundos do Desdobramento de Rochas Ornamentais para a confecção de Blocos Paisagísticos**. Iniciação Científica, Engenharia de Petróleo e Gás, UNES, 2009.

GONÇALVES, J. P; **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**, 2000. 135p. Tese. NORIE/UFRGS. Porto Alegre/RS, 2000. Disponível em <http://www.infohab.org.br>. Acessado em 20/12/2010.

MERCADO, M. C. Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso. 1990. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MOURA, Washington Almeida; LEITE, Mônica Batista. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação**. *Revista Escolar de Minas*, Ouro Preto, v. 64, n. 2, p.147-154, 2011.

PEDROSA, S. C. **Curso de Serrador. Cachoeira de Itapemirim-ES**. CETEMAG -Outubro de 2000.

RIBEIRO. R. C. C., CORREIA, J. C. G., SEIL, P. R., ALMEIDA, S. L. M., CARVALHO, E. A. **Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas**. Série Tecnologia Mineral – RJ, CETEM – MCT, 2007.

SILVA, A. C. **Caracterização dos resíduos de serragem de blocos de granito: estudo potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos solo-cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Sant, Vitória, 1998.

SOUSA, A. A. P. e RODRIGUES, R., **Consumo dos Principais Insumos no Desdobramento de granitos do Nordeste, de Diferente Grau de Dureza**. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais. 2002. Recife-PE. Anais. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério das Ciências e Tecnologia. Recife/PE, p.171-178. 2002.

SOUZA, J. N.; RODRIGUES, J. K. G.; NETO, P. N. DE S.; **Utilização dos Resíduos Provenientes da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfaltos Usinados a Quente**.

Disponível:

http://www.sfiac.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Residuos_de_Serragem_de_rochas.pdf.

Acesso em: 12 de novembro 2010.

VIEIRA, Carlos Maurício Fontes; PEÇANHA, Luís Antônio; MONTEIRO, Sérgio Neves. **EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA SERRAGEM DE GRANITO EM MASSA DE CERÂMICA VERMELHA**. *Vértices*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 3, p.144-157, 2003.

VIEIRA Júnior, HamilcarTavares. **PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DE GRANALHA NÃO ATIVADA NO DESDOBRAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM TEARES MULTILÂMINAS**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia De Minas, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS EXPLORAÇÕES DE QUARTZITO NA REGIÃO DE OURO PRETO

M.F.Meyer¹, M.R.C.Vasconcelos², J.B.M.Souza³, E.N.Santos⁴, A.A.L.Silva⁵, N.M.G.M Pinto⁶.

¹Mauro Froes Meyer - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte) mf.meyer@terra.com.br; mf.meyer@hotmail.com, mauro.meyer@cefetrn.br

²Mario Rocha Vasconcelos - Professor do IFPA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará) E – mail: mario-rocha2601@yahoo.com.br

³João Batista Monteiro de Souza -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E – mail: joabatista@cefetrn.br

⁴Edson Neves dos Santos -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E – mail: edson_san2003@yahoo.com.br

⁵Antônio Augusto de Lima Silva –Aluno do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte).

⁶Nayra Maria Gomes Magno Pinto – Aluna do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: nayramagno@hotmail.com

RESUMO

Nas últimas quatro décadas tem ocorrido a expansão de explorações de quartzitos nas proximidades da cidade de Ouro Preto para utilização na construção civil e até para exportação. Tais explorações estão sendo feitas sem o mínimo planejamento, promovendo problemas ambientais graves. Apesar da lavra de quartzitos ser uma ocupação provisória do terreno, esta atividade pode causar impactos ambientais graves. Por outro lado, esta atividade é importante para a região em termos de geração de emprego. Um dos principais objetivos deste artigo é analisar estas atividades identificando seus principais impactos e propondo medidas corretivas considerando o uso futuro da área.

Palavras chave: quartzitos, impactos ambientais, explorações

INTRODUÇÃO

Localização e Geologia Regional

A região de Ouro Preto está localizada no Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero está situado no extremo sul do cráton São Francisco apresentando uma área de aproximadamente 7.000 Km², sendo delimitado pelas cidades de Itabira, a nordeste, Mariana, a sudeste, Congonhas do Campo, a sudoeste e Itaúna, a noroeste. Várias outras cidades estão incluídas no Quadrilátero Ferrífero como Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Santa Bárbara, Itabirito e Ouro Preto (Figura.1).



Figura 1 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero com indicação da região de Ouro Preto .

O Quadrilátero Ferrífero se distingue em relação às áreas adjacentes por conter um conjunto de características fisiográficas, geológicas e geo-econômicas notáveis, sendo considerado como uma das áreas clássicas da Geologia pré-cambriana do mundo.

O Quadrilátero Ferrífero é constituído, estratigraficamente, (Tabela 1) pelas seguintes unidades:

— Complexos Metamórficos, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi, sendo possível reconhecer, também, coberturas cenozóicas .

Tabela 1 - Coluna Estratigráfica simplificada do Quadrilátero Ferrífero indicando a espessura máxima das formações correspondentes.

Coluna Estratigráfica					
Idade	Série	Grupo	Formação	Litologia	Espes.(m)
	Itacolomi			Ortoquartzito, conglom.	2000
Pré-Cambriano		Piracicaba		Quartzito, clorita-xisto	4000
		Itabira	Gandarela	Dolomito e xisto verde	600
			Cauê	Itabirito e filito dolomito.	350
	Minas	Caraça	Batatal	filito, talco-xisto	250
			Moeda	conglomerado, quartzito	150
		Tamanduá		Ortoquartzito conglom.	1000
	Rio das velhas	Maquiné		filitoquartz. e grauvaca	1800
		Nova Lima		Clorita-xisto, F.ferrifera	14000

Geologia Local

A área considerada para esta avaliação é composta em sua maioria pelos quartzitos da Formação Moeda, pertencente ao grupo Caraça, Supergrupo Minas de idade Proterozóica. O quartzito apresenta-se com uma coloração que varia de branca a rosa e a textura varia de fina a média, estando localmente alterado. Em alguns pontos estes quartzitos apresentam feições curiosas que se destacam e se transformam em pontos de visitação para turistas.

Lavra de quartzitos

As explorações de quartzito são executadas a c eu aberto, por bancos, e os blocos irregulares de melhor qualidade selecionados são retirados da encosta e cortados em fatias que são arremessadas para baixo e finalmente divididas em pedras de revestimento de acordo com os padrões comerciais vigentes. A tecnologia de corte é muito rudimentar e consiste basicamente na utilização ocasional de pequenas quantidades de pólvora seca e ferramentas tradicionais para corte e alavancagem.

As lavras conduzidas pelos pequenos mineradores são artesanais. Primeiro procuram-se as áreas de interesses, classificando-as pela textura do material, cor e proximidade da superfície. Nos locais onde o capeamento é pouco espesso ou a rocha aflorante está alterada, remove-se este material com enxada, p  e picaretas e o transporta em carrinho de mão para um dos lados da frente de serviço, ou o deposita num local o mais próximo possível, evitando-se assim transportar o material por grandes distâncias. No campo, foram identificados três métodos diferentes de explotação, que serão descritos abaixo.

Primeiro Método: Manual

O processo de extração é iniciado após obterem-se duas faces livres da superfície da rocha; aproveitando-se dos planos de fraturas, presente no depósito e por intermédio de alavancas, cunhas e marretas. Inicia-se a separação do bloco de forma muito lenta e trabalhosa. Obtido o bloco, procede-se

à separação das placas através da introdução das cunhas nos planos de clivagem da rocha concomitantemente com a aplicação de golpes com marretas. Nesta fase são utilizadas cunhas de diversos comprimentos, obtendo-se como produto final as denominadas lajotas que são classificadas segundo seu tamanho ou área.

Na faixa de 40x40cm, temos os denominados lajões. Na faixa de 20x20cm temos as lajinhas. O produto final da lavra é transportado, por arrastamento, até um local próximo de uma estrada a mais ou menos uns 50 metros da frente de serviço, onde é empilhado e transportado para o beneficiamento.

Segundo Método: Misto ou com Utilização de Explosivo

Após a remoção do capeamento ou em locais onde a rocha é aflorante, o trabalhador faz os furos com diâmetro, normalmente, de 7/8 de polegada, da seguinte forma: - Faz-se o coroamento utilizando-se de uma ponteira, chamada de “picote” e marreta sendo que a ponteira vai recebendo os golpes da marreta e um homem faz a rotação manual da ponteira, até uma profundidade da ordem de 1,0 a 1,1 metros. Concluído o furo, carrega-se com explosivo, geralmente dinamite, e escorva com cordel detonante NP-5, o qual é ligado a espoleta simples e ao mantopim. Neste ponto o furo está pronto para ser detonado. Após a detonação, geralmente, obtém-se um bloco com dimensões próximas de 1,5m x 1,5m x 1,0 m. Os blocos são trabalhados manualmente conforme comentado no item 2.1 e o produto final é obtido da mesma forma citada acima, no primeiro método. A vantagem do método é o baixo custo. A desvantagem é a baixa produtividade. Normalmente detona-se um furo por vez.

Terceiro método: Mecanizado

A operação de limpeza da frente de lavra e remoção de solo ou rochas alteradas é realizada por trator de esteiras e carregadeira e tal qual no método artesanal o estéril é depositado num local próximo da frente de serviço, porém de forma mais organizada.

Muitas vezes, à medida que a lavra vai avançando, as áreas lavradas vão sendo cobertas, desconsiderando a possibilidade de aproveitamento posterior do quartzito em profundidade. Em seguida, por intermédio da perfuração pneumática, são feitos furos que atingem de 5,0 m até 15 m de comprimento e com diâmetro do furo de 3 polegadas, dependendo da espessura da camada compacta que está sendo lavrada.

Muitas vezes esses blocos são classificados como estéril e precisam ser removidos para dar seqüência à lavra. O desmonte consiste, na detonação de uma única linha de furos espaçados de 4m entre si com afastamento de 3,5m da face da rocha. O carregamento é feito da seguinte forma:

- Tampão de 3,5m de comprimento.
- Explosivo do tipo ANFO granulado de densidade 0,8g/cm³.
- Cerca de 20% do comprimento total é preenchido com explosivo do tipo emulsão encartuchada de dimensão 2 1/4” x 24”.

A iniciação dos explosivos da coluna é feita com uma peça de coluna de acessório tipo “Nonel” de comprimento próximo à profundidade do furo. As peças de coluna são interligadas na superfície por uma linha tronco de cordel detonante NP-5, a qual, por sua vez é iniciada por um conjunto estopim – espoleta de 1,0m de comprimento. Após a detonação, o processo de extração das lajotas é similar aos descritos no método artesanal. Em todos os três métodos os impactos ambientais sobre o solo, a vegetação, o ecossistema aquático, a fauna, a estética do depósito de estéril e a área lavrada são equivalentes.

Beneficiamento

A instalação de beneficiamento é bastante simples. Normalmente é equipada por duas máquinas. A máquina de corte é acionada por um motor elétrico de 15 CV e 1750 RPM, que trabalha fixa em uma estrutura móvel construída por cantoneira e chapas de aço que se movimenta sobre trilhos. Os produtos, “in natura”, são posicionado sobre a referida estrutura, que é deslocada lentamente a medida que se gira uma manivela, posicionada num dos lados na parte baixa. Enquanto a estrutura se desloca lentamente, a água flui livremente sobre a serra e a rocha, facilitando o corte e evitando a formação de poeira. As peças são cortadas em forma retangular com dimensões segundo especificação do cliente.

As máquinas, em geral, têm capacidade de corte de 50 a 60 m² de rocha por dia . A máquina de polimento é também acionada por um motor elétrico de 15 CV e 1750 RPM e é composta por um conjunto de quatro suportes, interligados, em que as coroas diamantadas são acopladas. As lajes são posicionadas sobre uma superfície plana, construída de alvenaria. O conjunto gira sobre a superfície da laje em contato com a água fazendo o polimento. A máquina tem capacidade de produção variando de 30 a 40 m²/dia.

A LAVRA E A DISPOSIÇÃO DE ESTÉREIS

Uma dos impactos mais visíveis ao meio ambiente e também ao patrimônio histórico é causado pelas unidades de beneficiamento que estão situadas às margens da rodovia dos Inconfidentes (entre Ouro Preto e Mariana) onde o rejeito das serrarias é disposto aleatoriamente às margens da rodovia sem qualquer preocupação com os transeuntes, incluindo turistas que visitam o sítio histórico de Ouro Preto. Além do impacto visual causado pelos entulhos , a água contaminada gerada no processo de serraria e polimento dos quartzitos é despejada diretamente no solo, sem qualquer tratamento para contenção de finos e reaproveitamento.

Nas áreas visitadas em Ouro Preto (Bairros Taquaral, São Cristóvão e Periquitos) pode-se observar, nitidamente, estes tipos de impactos e, praticamente, nada tem sido realizado pelos responsáveis para reduzir estes impactos . Pode ser observado que à medida que avança a lavra dos quartzitos, o estéril tem sido depositado nas margens de rios causando assim o seu desvio e uma diminuição do volume de água. Caso continue este procedimento se poderá chegar inclusive ao assoreamento de alguns cursos de água da região. Esta atividade, também, foi uma das responsáveis pelo desaparecimento de algumas espécies de peixes que, segundo informações obtidas no local, eram bastante abundantes.

A forma como este estéril é depositado acarreta na eliminação de parte da vegetação existente na área. Este fato é agravado na estação chuvosa ocorrendo, possivelmente, lixiviação de parte deste material e desestabilização que leva a deslocamento de massas e deslizamentos, além de transporte de material para outras regiões, o que acaba aumentando a degradação ambiental. Quanto aos rejeitos líquidos resultantes da operação de serra e polimento, os quais na maioria das vezes são conduzidos para os ribeirões pela ação da gravidade, há o risco de transporte de água contaminada, situação que se agrava com o aumento dos níveis pluviométricos, carreando partículas sólidas em suspensão e causando o aumento da turbidez da água.

Outro tipo de impacto que foi constatado nas instalações de beneficiamento do quartzito junto as margens da rodovia dos Inconfidentes foi a questão do ruído causado pelas máquinas de corte e polimento. A produção mensal das dezenas de pequenas pedreiras da área gira em torno de 5000 a 10.000 m² com uma recuperação na lavra variando em torno de 40 a 80 %. A força de trabalho consiste geralmente de cinco trabalhadores por cada frente de trabalho, apesar desde número atingir cerca de 20 trabalhadores nas pedreiras de maior porte, estando cinco deles trabalhando no processo de serragem e eventual polimento. Uma grande quantidade de estéril é produzida devido ao processo de

seleção dos blocos de melhor qualidade. O capeamento, estéril e outros materiais não aproveitados no processo de serragem e polimento eventual da rocha são depositados nas proximidades da lavra.

As áreas adjacentes às pedreiras são caracterizadas pela presença de taludes inclinados cobertos por matas. A fauna consiste principalmente de várias espécies de répteis, pequenos roedores e pássaros. As pedreiras de quartzito dão uma contribuição importante para a economia de Ouro Preto e arredores. Na área de Ouro Preto um aumento substancial da deposição de estéreis devido à exploração irregular de quartzito tem afetado a capacidade de recuperação dos ecossistemas de tal forma que ameaça seu delicado equilíbrio. A escavação dos depósitos de quartzito envolve a remoção do solo superficial e das rochas do capeamento (Figura 2).



Figura 2 - A escavação dos depósitos de quartzito envolve a remoção do solo superficial e das rochas do capeamento .

Este decapeamento modifica a topografia natural do terreno, afetando o sistema de drenagem, prejudicando o processo de sucessão natural da vegetação e resultando em problemas graves de erosão do solo e poluição ambiental (Singh et al. 1998). As operações de lavra na área de Ouro Preto causam destruição de florestas nativas e de “habitats” naturais de espécies e acumulação de grandes volumes de estéreis e rejeitos que são depositados nas cercanias das áreas lavradas. A lavra a céu aberto, além de destruir a vegetação natural existente, também causa diminuição da qualidade dos solos tanto em termos pedológicos quanto biológicos. A flora, fauna, hidrogeologia e o sistema biológico em geral são muito alterados (Singh et al. 1994). A disposição de estéril e as operações de reabilitação de uma área minerada compreendem as ações de disposição dos estéreis de uma forma ordenada, preparando o terreno para um uso futuro. Também devem ser consideradas as medidas para efetivar a estabilização das áreas lavradas e a redução dos impactos ambientais. O objetivo de uma disposição ordenada de estéril e reabilitação deve ser a redução dos impactos ambientais da exploração e o atendimento aos requisitos legais (Williams, D.J. et al, 1997).

Deve ser elaborado um projeto de disposição de estéril em pilha para as pequenas minas de acordo com as normas NBR 13029 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), visando atender as condições de segurança, higiene, operacionalidade, economicidade, abandono e minimização dos impactos ao meio ambiente, dentro dos padrões legais. Assim, para as pilhas, pois não existe

barramentos no local, deve-se dispor o material dentro da cava da própria mina, ou o mais próximo possível; de preferência em áreas já degradadas; dentro dos limites legais do empreendimento. Deve-se evitar dispor o material em vales com talvegues de inclinação superior a 18°; drenagens, nascentes e cursos d'água; áreas de preservação permanente; terrenos instáveis, alagadiços ou sujeitos a inundação; áreas com vegetação nativa exuberante; áreas com solos férteis. Quanto à geometria externa e interna da pilha, devem ser observados os seguintes limites e cuidados: altura máxima de bancos de 10 m; largura mínima de bermas de 6 m; altura máxima da pilha de 200m; existência de acessos de manutenção; reduzir o ângulo entre bancos, para valores inferiores ao ângulo de repouso natural do estéril; bermas com declividade longitudinal e transversal mínima de 1% e 5%, respectivamente; drenagem na pilha. Outros parâmetros na concepção do projeto são: zoneamento interno dos materiais a serem dispostos, de forma a aproveitar ao máximo as características de resistência e drenabilidade de cada um; compatibilização da formação e zoneamento da pilha com as etapas de remoção do estéril; execução da pilha de forma ascendente; proteção dos taludes, preferencialmente com vegetação; remoção e estocagem do solo orgânico da fundação da pilha para reaproveitamento futuro; sistema de drenagem interna, superficial e periférica; sistema de retenção de sedimentos oriundos de erosão; sistema de monitoramento. Os rejeitos sólidos, originados da operação de corte das rochas, são denominados vulgarmente como “filetes”. Tais rejeitos correspondem a aproximadamente 10% de perda da matéria prima que chega à área de beneficiamento. Este rejeito é classificado como “entulho” e é utilizado muitas vezes para revestir estradas. O rejeito do beneficiamento (Figura 3) é outro grande problema, que pode ser resolvido com sua utilização, por exemplo, na indústria, na fabricação de britas ou em calçamentos de ruas, etc. Deve-se verificar a melhor opção para seu melhor aproveitamento. De qualquer forma, caso não se encontre uma utilização econômica para este rejeito, este material deve ser transportado e disposto em pilhas controladas com um sistema de contenção de finos (Dique).



Figura 3 - O rejeito do beneficiamento é outro problema, que precisa ser resolvido.

REABILITAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS

Geralmente, as atividades de mineração duram somente alguns anos e os mineiros abandonam o local deixando os problemas existentes e os problemas futuros para serem resolvidos por outros. A operação de uma mina cessa quando a pedreira não pode ser mais explorada com lucro. O tempo exato desse evento é muito incerto devido a incertezas sobre as reservas minerais, custos e preços dos produtos

minerais. De um modo geral, em poucos anos o fechamento da mina ocorrerá e este fato representa um grande e novo desafio para a atividade mineira. Conforme comentamos, as áreas mineradas, representam fontes potenciais de geração de impactos de longo prazo, como por exemplo, os impactos devidos à disposição inadequada de estéreis. Estes locais minerados devem ser recuperados a uma situação que esteja próxima da situação original, apesar de em muitas minas a céu aberto esta opção ainda não ser vista como viável ou desejável. Para uma pequena companhia de mineração efetuar o fechamento de uma mina, a opção escolhida costuma ser simplesmente o abandono do local deixando os problemas existentes e futuros para os outros (Sinding, 1998). Infelizmente, a opção do abandono é ainda possível nesta parte do Brasil. Entretanto, acreditamos que com o passar do tempo e o aparecimento dos problemas e o aumento da consciência ecológica da comunidade as medidas preventivas terão que ser adotadas restringindo a lavra predatória. Uma alternativa é requerer planos de fechamento que especifiquem o monitoramento de longo prazo assegurando que não ocorram impactos inesperados (Sinding, 1998).

Deve-se elaborar um projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração, seguindo as normas da NBR 13030 da ABNT, portanto deve-se fazer a adequação paisagística, ou seja, a harmonização de áreas mineradas com o seu entorno, com o intuito de minimizar o impacto visual; fazer a adequação topográfica que é a conformação topográfica com vistas ao uso futuro da área.

CONCLUSÕES

O conjunto de pedreiras de quartzito de Ouro Preto incorpora um grande número de minas com as mesmas características, ou seja, (mesmo tipo de material, métodos de lavra similares e competição no mesmo mercado), e com concentrações acima de 1 unidades de produção por km² em certas áreas, apesar dos limites não serem, geralmente, definidos com precisão (Figura 4).



Figura 4 - O conjunto de pedreiras de quartzito de Ouro Preto incorpora um grande número de minas com as mesmas características, ou seja, apesar dos limites não serem geralmente definidos com precisão.

Parece evidente que o impacto geral no ambiente produzido pelo conjunto de pedreiras como um todo não é meramente a soma dos impactos de cada pedreira em particular considerada como uma unidade isolada, mas tal impacto pode ser calculado considerando os seguintes aspectos (Ciccu *et al.* 1998):

- somente algumas das pedreiras e infraestrutura relacionadas são visíveis a partir dos corredores visuais principais do terreno;
- as áreas expostas das faces das pilhas e das cavas decrescem com a distância do observador;
- Distúrbios como ruídos, poeira e vibração sonora são gradualmente atenuados quando aumenta a distância em relação à fonte emissora;
- flora e fauna são afetadas somente em uma área limitada às redondezas de cada mina de tal modo que nenhum efeito de superposição será observado se a distância entre as minas for suficientemente grande;
- os aspectos sociais, econômicos e culturais, positivos, podem, entretanto, beneficiar a comunidade circunvizinha em uma área que exceda os limites do conjunto de pedreiras.

Apesar da mineração dos quartzitos ser uma ocupação superficial temporária na área, ela causa um impacto ambiental importante associado à movimentação do solo superficial, estradas de acesso, superfícies sem vegetação, rejeitos e pilhas de estocagem de estéréis. A qualidade e a quantidade de água tanto superficial quanto subterrânea é afetada se medidas mitigadoras não forem praticadas. Os cursos de água podem ser afetados e a vazão dos mesmos alterada. A erosão pode ser excessiva e a água superficial e subterrânea podem atingir níveis de mineralização indesejáveis. A topografia, drenagem, vegetação e paisagem do local minerado podem ser seriamente impactados. A inclinação das pilhas de estocagem do material estéril pode tornar a topografia inadequada para uma utilização futura do local (Williams, D.J. et al, 1997). Os impactos da mineração incluem também a degradação da paisagem, destruição de terras agricultáveis e de floresta e degradação de terrenos utilizáveis para recreação.

- A mineração da rocha quartzosa de Ouro Preto, para fins de revestimento, é desenvolvida fora dos parâmetros técnicos, ambientais e legais. Para o aproveitamento econômico desse bem mineral, dentro dos critérios de desenvolvimento sustentável, são necessárias mudanças no processo produtivo, como:
 - Remoção destas unidades de beneficiamento próximo às áreas de extração e construção de barragens para contenção de finos provenientes do beneficiamento e reaproveitamento da água no próprio processo. Com isto se diminui impacto visual provocado sobre o patrimônio histórico.
 - Uma das medidas mitigadoras que está sendo usada no local é o plantio de espécies arbustivas como por exemplo Candeias, Ipês, Eucaliptos, entre outras, cujo objetivo é a fixação do solo para contenção da erosão e para a estabilização do talude.
 - Apoio técnico de profissionais habilitados (engenheiro de minas e geólogos), visando um melhor planejamento das operações de lavra e beneficiamento. Este apoio técnico pode ser viabilizado pela Associação dos Produtores ou Pequenos Mineradores de Ouro Preto, atendendo assim, as necessidades de todas as pedreiras associadas;
 - Implementação de medidas mitigadoras para a disposição controlada do estéril proveniente da lavra;
 - Estudo de aproveitamento econômico do rejeito das serrarias. Este estudo pode ser desenvolvido em parceria com Instituições de nível superior da área de geociências, objetivando encontrar utilização para o rejeito (cascos e aparas);
 - Estudo técnico com a finalidade de diminuir a perda de rocha durante o processo de serragem;
 - Utilização de métodos de prospecção, como a sísmica de refração, para identificar as fraturas em profundidade reduzindo a perda da pedra durante a operação de lavra.

Finalmente, o estabelecimento e crescimento da vegetação após a lavra, devem ser observados com a finalidade de facilitar o retorno da flora e fauna original. A fertilidade, o pH e a salinidade do solo devem ser controlados.

Uma solução para a extração de quartzito deve ser encontrada, já que do ponto de vista econômico a lavra gera bons lucros provenientes do mercado nacional e internacional com as exportações para Europa e Japão. O quartzito concorre tanto no mercado nacional e internacional com outras rochas ornamentais, muitas vezes, superando-as em preço o que acarreta um ótimo retorno de investimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ciccu, R., Mocci, G. & Imolesi, E.(1998) A rational approach to the assessment of environmental issues in stone quarrying districts. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 87-93.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 13029) (1993) Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente , Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira e Normas Técnicas - ABNT (NBR 13030) (1993) Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente , Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro.

Williams, D.J, Wu,Y. & Morris, P.H.(1997) Systems analysis of engineered mine site rehabilitation, Proceedings of The Fourth Intern. Conf. on Tailings and Mine Waste, Fort Collins, Colorado, Rotterdam: A.A. Balkema.

Sinding, K. (1998) Environment impact assessment and management in the mining industry. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 81-86.

Singh, R.S., Tewary, B.K. & Dhar, B.B. (1994) Effect of surface mining on plant biomass and productivity in a part of Dhanbad coalfield areas. Second National Seminar on Minerals and Ecology (ed. Banerjee, S.P.), Oxford & IBH Pub., New Delhi, pp. 103-109.

Singh, P.S., Chaulya, S.K. & Singh, S.K. (1998) Eco-friendly technology for waste dumps management in India. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 463-468.

O USO DO MÉTODO DA LISTAGEM DE CONTROLE NA IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA EXTRAÇÃO DE MINÉRIOS NA ÁREA RURAL DE CAMPINA GRANDE/PB

L.N. Cabral¹, S.S. Pereira², T.L.B. Alves³

¹ Fundação Universitária para o Ensino, Pesquisa e Extensão – FURNE/UEPB/UNIPÊ
Geógrafa. Especialista em Desenvolvimento e Meio Ambiente. e-mail: laisecabral@gmail.com

² Departamento de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande
Geógrafa. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA UFPB/UEPB. Doutoranda em Geografia/UFPE e em Recursos Naturais/UFCG, Bolsista CNPq. email: suellensp@hotmail.com

³ Geógrafa. Doutoranda em Recursos Naturais – UFCG, Bolsista Capes. e-mail: telmalu@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo propõe-se a identificar os impactos ambientais negativos decorrentes da atividade de mineração em uma pedreira situada no Km 21 da zona rural do município de Campina Grande/PB, com ênfase para a geração de rejeitos provenientes do corte da rocha, além de propor alternativas para a reutilização deste material como forma de minimização dos impactos ambientais. Metodologicamente, para a identificação e caracterização dos impactos ambientais resultantes da supracitada atividade, utilizou-se o método da listagem de controle (Check List), o que possibilitou a identificação dos mesmos, além de observações *in loco* da área em estudo e do registro fotográfico. Os dados coletados serviram para identificar os principais impactos ocasionados pela exploração de minério na área pesquisada, a exemplo da geração de rejeitos do corte da rocha, podendo este ser considerado um impacto ambiental em potencial, visto que este se acumula nas imediações da pedreira, ocasionando, por exemplo, danos ao espaço vegetal circundante. Também foram identificados, durante a pesquisa de campo, os seguintes impactos ambientais: desconforto sonoro causado pelo desmonte de rocha com explosivos; poluição atmosférica através da geração de gases e poeira; processos erosivos; desmatamento da vegetação nativa; dentre outros. Faz-se oportuno ressaltar que a área pesquisada é explorada de maneira irregular inexistindo qualquer Estudo de Impacto Ambiental para exploração dos minérios ali existentes. Diante do exposto, observou-se que a aplicação do método de listagem Chek List se apresentou como uma alternativa viável para identificação de impactos ambientais negativos na atividade de mineração, fazendo-se necessárias alternativas mitigadoras para minimização dos danos ambientais observados, como a recuperação dos taludes; aterramento das crateras; bem como a utilização dos rejeitos em obras de construção civil (calçadas, na argamassa, muros, dentre outros), obtendo, assim, alternativas possíveis para a reutilização deste material e ainda corroborando para a minimização dos impactos ocasionados ao meio ambiente.

Palavras-chave: Impactos ambientais, Minério, Rochas, Utilização de rejeitos.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de muitas décadas a exploração mineral têm se destacado, como uma atividade que, além de gerar empregos e ser fonte extra de renda para pequenos proprietários rurais, sobretudo nas localidades onde não há desenvolvimento ou expectativa de melhoria social, também é uma atividade que causa enormes impactos ambientais, muitos desses irreversíveis (BACCI *et. al.*, 2006).

A exploração mineral em si, é uma atividade caracteristicamente insustentável, haja vista que para sua realização esta necessita, obrigatoriamente, retirar do meio recursos naturais, podendo ocasionar a exaustão da área, uma vez que não existe a reposição do que foi extraído. Por este motivo, existem procedimentos que são indispensáveis para a minimização dos impactos da supracitada atividade, buscando, com isso, uma manutenção da cobertura vegetal, através da preservação da flora e da fauna da região; bem como o controle sobre poluição sonora e disposição de dejetos.

O conhecimento preliminar dos aspectos ambientais de uma atividade econômica atende às expectativas de uma melhoria do meio ambiente, conhecendo-se, previamente, os problemas associados à fundação e operação de empreendimentos, por meio de instrumentos de avaliação de impactos e planejamento ambiental, podem-se criar medidas que evitem ou mesmo diminuam tais impactos, reduzindo os danos ambientais e conseqüentemente, os custos envolvidos na sua correção (BACCI *et. al.*, 2006).

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local (op. cit.).

Para identificação e avaliação desses impactos ambientais associados a uma determinada atividade, "(...) deve-se procurar inicialmente, selecionar todas as atividades, de modo a separar e identificar a maior quantidade possível de impactos ambientais gerados, reais, potências, benéficos e negativos decorrentes de cada etapa da distinta atividade." (SÁNCHEZ, 2008).

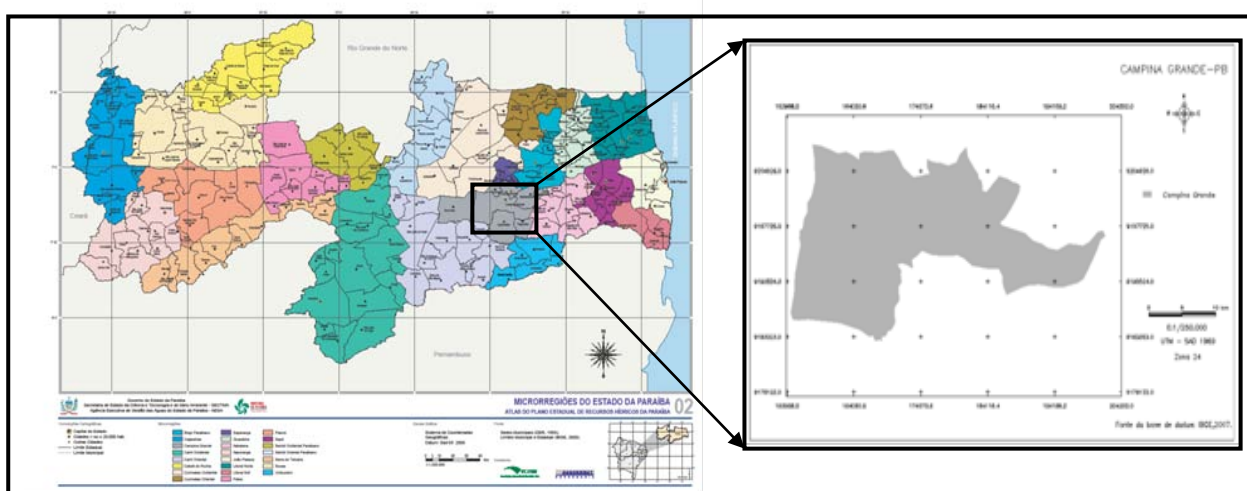
Desta forma o presente estudo visou identificar e avaliar qualitativamente os impactos sócio-ambientais decorrentes da atividade de extração mineral em uma pedreira localizada na zona rural do município de Campina Grande/PB, com ênfase para as condições de exploração e dos rejeitos, podendo estas repercutir em danos e/ou agravos ao meio estudado.

Diante do contexto, ressalta-se a necessidade de maiores investimentos para o desenvolvimento da atividade em foco, com vista à manutenção do meio ambiente, assim como a melhoria das condições de trabalho, minimizando, com isso, os danos e/ou agravos decorrentes das condições existentes.

2. METODOLOGIA

2.1. Localização geográfica da área em estudo

Situado no semiárido nordestino, o município de Campina Grande está localizado na Microrregião de Campina Grande e na Mesorregião do Agreste Paraibano, estando esta localizada na província da Borborema, cuja estrutura geológica é cristalina. A Figura 1 apresenta a localização do município em estudo.



Fonte: Sedes Municipais (DER, 1999); Limites Municipal e Estadual (IBGE, 2000). Adaptado por Cabral, 2011.

Figura 1 - Mapa do estado da Paraíba, com destaque para o município de Campina Grande.

A pedreira pesquisa localiza-se na BR-230km, Zona Rural do município de Campina Grande, distante 21 km do centro urbano, fato que confere o nome a localidade em foco, limitando-se com os municípios de Pocinhos e Boa Vista.

2.2. Caracterização da pesquisa

A pesquisa realizada é do tipo empírica e descritiva, com a utilização de trabalho de campo, e descrições dos aspectos naturais da área de estudo e dos impactos sócio-ambientais na pedreira, bem como das condições de trabalho e saúde das pessoas que ali realizam suas atividades laborais. Para avaliação qualitativa dos impactos ambientais da área, foi utilizado o método de listagem check list, o qual consiste em levantar e identificar os aspectos positivos e negativos, ao meio ambiente e a população, da atividade de mineração na área em pauta.

2.3 Instrumentos de Coleta e Análise dos Dados

Como procedimentos metodológicos foram realizados, além da pesquisa bibliográfica, um estudo de caso, com observação *in loco* á área de estudo, conversas informais com os trabalhadores da pedreira; assim como o registro o fotográfico. Sendo a observação desenvolvida no mês de junho do corrente ano. Os dados coletados foram analisados qualitativamente e serviram para identificar as principais fontes que podiam ser utilizadas como instrumento para avaliação de desempenho ambiental, dentro de um Sistema de Gestão Ambiental. Faz-se oportuno informar que a presente pesquisa se encontra em sua fase inicial, sendo responsável, inicialmente, pela identificação dos impactos. Em fase a ser desenvolvida, será investigada soluções mitigadoras dos impactos ora elencados. Ressalta-se que os dados serão apresentados em forma conjunta de resultados e discussões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo abrange uma pedreira de rochas ígneas, localizada dentro da comunidade rural do Km 21, na região do agreste paraibano, na parte oriental do Planalto da Borborema, município de Campina Grande, Estado da Paraíba. As construções civis e comerciais mais próximas encontram-se a acerca de mais ou menos 500 m. A área em estudo está em funcionamento a cerca de 40 anos, fato que ressalta o grau de degradação ambiental da localidade, bem como da exploração da força de trabalho, haja vista que a atividade da pedreira não é legalizada, o que, por conseguinte, impede a regularização dos operários, não tendo estes nenhuma estabilidade. Desse modo, será apresentada a atividade de mineração do estado da Paraíba, ressaltando os impactos ambientais observados e posteriormente os danos ocasionados à saúde dos trabalhadores da área investigada.

3.1 Atividade mineradora: dialogando do global para a problemática local (pedreira)

Dentre os principais impactos ambientais sobre a superfície do terreno, relaciona-se à disposição final inadequada de rejeitos e resíduos decorrentes da lavra que pode comprometer a paisagem e degradar o solo e águas subterrâneas. A forte disponibilidade do rejeito das mineradoras constitui um problema para o produtor rural na região. A lavra ou mineração provoca a degradação física, muitas vezes de forma drástica, podendo provocar grande impacto visual, modificações na topografia, erosão do solo, assoreamento de drenagens, dentre outros (PEREIRA, 2008).

As atividades minerais em geral, e a lavra de Rochas e Minerais Industriais (RMI) em particular, talvez mais que outras operações industriais, mantêm uma relação difícil com o meio: para extrair, transportar, transformar e comercializar os minerais, é preciso prejudicar o meio, às vezes de forma irreversível, e produzir uma quantidade de resíduos que quase sempre é muito grande (PEREZ, 2001).

Segundo o mesmo autor, além dos danos que podem causar pelo volume de resíduos gerado, é preciso considerar outras características ambientais negativas decorrentes das explorações minerais: a primeira é que a localização das pedreiras e minas tem de ser feita no lugar onde existe o jazimento, o que não ocorre com outros tipos de indústrias; este fato pode causar danos ecológicos ou paisagísticos. A segunda é que a mineração é sempre agressiva ao meio em que se situa; os enormes volumes que são necessários tratar, formam sinais visíveis na superfície terrestre difíceis de ocultar, afetando a fauna e a flora, e o clima, pelas explosões, poeira e contaminação química por compostos de tratamento, piorando a qualidade de vida dos habitantes mais próximos, entre os quais se encontram os próprios mineiros. A terceira característica está ligada à produção de resíduos que tem a ver com a possível contaminação de leitos fluviais e de aquíferos e a possibilidade, portanto, de transferir o dano para lugares afastados da própria mina.

3.2 A importância do método da listagem de controle (método check list) nas avaliações de impactos ambientais

O uso do método “check-list”, consiste, segundo Silva (1999), no vislumbamento e na listagem de consequências (impactos ambientais), quando se considera o potencial transformador do ambiente físico biótico e antrópico, de causas (atividades impactantes) conhecidas. O mesmo é reconhecido como sendo de fácil compreensão e entendimento para a população, utilizando-o na preparação de listagens de fatores ambientais potencialmente afetados pelas ações propostas, bem como na elaboração de listagens padrão para empreendimentos similares, disponibilizadas em bibliografias especializadas.

Segundo Corino (2012), ocorrem algumas vantagens e desvantagens. Como vantagens se têm: simplicidade de aplicação e exigência reduzida de dados e informações. Desvantagens: não possibilitam projeções e previsões, ou identificação de impactos de segunda ordem.

Impactos ambientais negativos na atividade de mineração: De acordo com Machi e Sanches (2010), praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento dos corpos d’água do entorno. A qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma bacia, a jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxa, metais pesados. Estes últimos podem também atingir as águas subterrâneas.

Com frequência, a mineração provoca a poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra, beneficiamento e transporte, ou por gases emitidos da queima de combustível. Outros impactos ao meio ambiente estão associados a ruídos, sobrepressão acústica e vibrações no solo associados à operação de equipamentos e explosões.

Foram levantados, através do método de listagem (*check list*), os diversos aspectos e impactos ambientais da pedreira de rochas ígneas, os quais podem servir de base para uma avaliação ambiental da área de estudo em um sistema de gestão ambiental. Cabe destacar que, na localidade em questão, a extração de rochas é destinada, principalmente, para ornamentação (principalmente calçadas) e paralelepípedos.

Entre os diversos impactos identificados, os que mais se destacaram associam-se ao desmonte de rocha com explosivos (sobrepressão, vibração do terreno e ruído), pois são os que causam maior impacto ao meio ambiente, bem como na circunvizinhança. O uso de explosivos no desmonte de rocha, como pode ser visto na Figura 2, pode estender-se para áreas fora do domínio da pedreira.

As principais fontes de sobrepressão na detonação de uma bancada são: deslocamento da rocha, decorrente diretamente do deslocamento físico da rocha; vibrações na superfície rochosa, devido à reflexão das ondas sísmicas em faces livres, onde uma parcela da energia é transmitida como um pulso para o ar; escape de gases, decorrente do escape de gases pelas fraturas; ejeção do tampão, decorrente de gases saindo com a ejeção do tampão e do sistema de iniciação, como uso de cordel detonante e espoletas em superfície, não confinados.

No Brasil, o limite aceito para a sobrepressão é de 134 dB, de acordo com ABNT (2004). As vibrações de terreno são um subproduto inevitável de qualquer detonação. Na pedreira de rocha ígnea em estudo, são causadas pelo uso dos explosivos, quebra e deslocamento da rocha. Os possíveis efeitos das vibrações, nas construções civis, se verificam através de trincas e rachaduras nas paredes e da vibração do terreno. É possível que os moradores da região sintam a vibração do piso e das paredes e confundem os efeitos das vibrações do terreno com os da sobrepressão.

Os limites de vibração do terreno sugeridos pela NBR 9653 (2004) são divididos em três faixas, de acordo com a frequência das ondas sísmicas, medidas através da velocidade de partícula: de 15 a 20 mm/s, para frequências abaixo de 15 Hz, de 20 a 50 mm/s, para frequências entre 15 e 40 Hz e acima de 50 mm/s, para frequências acima de 40 Hz. O ruído ocorre devido à detonação dos explosivos. Os maiores efeitos do ruído, no entanto, são observados no beneficiamento, devido à sua duração e continuidade. A contaminação de recursos naturais da área e da circunvizinhança, como a água e o solo, principalmente, ocasionam impactos sociais e econômicos, limitando a sua utilização.

Afora os fatores elencados, destaca-se a alteração da paisagem local, com a retirada da camada vegetal para exploração da área, fato que pode resultar levando em consideração o tempo, bem como as técnicas utilizadas, a danos irreversíveis na localidade. Tal fato é respaldado por Araújo (2008) ao destacar que a mineração da bentonita, no município de Boa Vista – PB foi dando um novo visual a geografia local, visto que, na paisagem, as edificações das empresas, as máquinas e o fluxo de caminhões e tratores que chegavam e saíam tomaram, em parte, o lugar da vegetação nativa da Caatinga, dos animais e do próprio roçado de culturas de subsistência, ficando evidente o impacto para a população local.

Apesar da atividade na pedreira ser realizada de forma totalmente rudimentar, isto é, sem a utilização de equipamentos adequados para este fim, sendo feito uso apenas do trabalho manual, tanto na retirada como na quebra da rocha, foi possível identificar uma grande quantidade de lançamentos (rejeitos e descartes de fragmentos), principalmente devido ao longo tempo em que ocorre a extração das rochas ígneas, uma vez que a pedreira em questão esta ativada há 40 anos.



Fonte: Pesquisa Direta (junho, 2011). Fotos: CABRAL, L.

Figura 2 - Foto da Rocha recortada com uso de explosivos apresentando resquícios de Mata Nativa na Pedreira (Campina Grande-PB).



Figura 3 - Foto da rocha sendo preparada para o 'corte'.

Como pode ser visualizado na figura 3, outro fator a ser destacado refere-se à poluição do ar (geração de gases, e poeira) estando presente, tanto nas detonações, quanto no beneficiamento. Apesar de não ter sido quantificado, é um impacto de ordem local, restrito à área da pedreira.

3.3 Disposição de rejeitos

Os rejeitos do corte da rocha como um impacto ambiental em potencial diz (IBRAM, 1987) "Nas atividades de mineração, as principais fontes de degradação são: a deposição de resíduos ou rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento e a deposição de materiais estéril, ou inerte, não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial".

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2002), na resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002, em seu Art.1, o define estéril como qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário. Rejeito é definido como material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério. Define também como: o sistema de disposição de estéril como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas; e como, sistema de disposição de rejeitos como estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes.

Os resíduos de mineração são dispostos à superfície do terreno, em locais pré-selecionados e onde não exista minério em subsuperfície. A disposição dos resíduos ocorre tanto com rejeitos de minas subterrâneas quanto rejeitos de minas a céu aberto. Os resíduos/rejeitos podem ser: pilhas de rejeitos sólidos (minérios pobres, estéreis, rochas, sedimentos de cursos d'água e solos); as lamas das serrarias de mármore e granito; lamas de decantação de efluentes; o lodo resultante do processo de tratamento do efluente da galvanoplastia no tratamento de jóias e folheados; os resíduos/rejeitos da mineração de agregados para construção civil, de rochas ornamentais, carvão, pegmatitos, argilas, calcário; os resíduos/rejeitos da mineração artesanal de ágata, ametista, esmeraldas, opala, ouro; o mercúrio proveniente do processo de amalgamação do ouro, principalmente em região de garimpos; rejeitos dos finos e ultrafinos não aproveitados no beneficiamento de rochas asfálticas, minério de ferro, rochas

ornamentais, carvão, vermiculita e scheelita; a geração de drenagem ácida de mina de carvão e minérios sulfetados.

“Além dessas fontes de contaminação ambiental, outras também podem ser citadas: lançamento de lixo, de esgoto sanitário, vazamentos ou derrames de óleos, ácidos e outros produtos, além da contaminação por elementos radioativos...” LOTT (2004). Os impactos paisagísticos em lavras mineiras são resultantes dos aspectos das escavações a céu aberto, como também da disposição dos rejeitos em superfície, das barragens de rejeitos, etc. Situações de risco podem ocorrer, tais como a instabilidade geotécnica, que se verifica em certos resíduos sólidos e rompimento de barragens de efluentes.

O desenvolvimento de uma estratégia de gestão de resíduos é de extrema importância, apesar de ser um processo complexo, pois visa conseguir um balanço razoável entre dois objetivos conflitantes: a maximização da redução do risco de contaminação/poluição e a minimização de custos financeiros. Os rejeitos da mineração produzem impactos ambientais pela deposição inadequada, pelo risco de contaminação de lençóis freáticos e pelas perdas de água no processo por falta do seu tratamento e do seu reuso. Podemos ver que todo cuidado é pouco durante as fases de lavra e beneficiamento de minérios para que os resíduos /rejeitos não sejam lançados no sistema de drenagem.

O Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM dispõe de Normas Reguladoras – NRM 19 para a Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos, são elas:

- **O estéril, rejeitos e produtos devem ser definidos de acordo com a composição mineralógica da jazida, as condições de mercado, a economicidade do empreendimento e sob a ótica das tecnologias disponíveis de beneficiamento.**
- A disposição de estéril, rejeitos e produtos deve ser prevista no Plano de Lavra – PL.
- A construção de depósitos de estéril, rejeitos e produtos deve ser precedida de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos.
- Os depósitos de rejeitos devem ser construídos com dispositivos de drenagem interna de forma que não permitam a saturação do maciço.
- Em caso de colapso dessas estruturas, os fatores de segurança devem ser suficientes para que se possa intervir e corrigir o problema.
- O plano de controle específico para cada caso deve estar à disposição na mina para a fiscalização.
- Os depósitos de estéril, rejeitos, produtos, barragens e áreas de armazenamento, assim como as bacias de decantação devem ser planejados e implementados por profissional legalmente habilitado e atender às normas em vigor.
- Os depósitos de estéril, rejeitos ou produtos e as barragens devem ser mantidos sob supervisão de profissional habilitado e dispor de monitoramento da percolação de água, da movimentação, da estabilidade e do comprometimento do lençol freático.
- Em situações de risco grave e iminente de ruptura de barragens e taludes as áreas de risco devem ser evacuadas, isoladas e a evolução do processo monitorada e todo o pessoal potencialmente afetado deve ser informado imediatamente.
- Deve ser elaborado plano de contingência para fazer face a essa possibilidade.
- Os acessos aos depósitos de estéril, rejeitos e produtos devem ser sinalizados e restritos ao pessoal necessário aos trabalhos ali realizados.
- A estocagem definitiva ou temporária de produtos tóxicos ou perigosos deve ser realizada com segurança por pessoal qualificado e de acordo com a regulamentação vigente.
- A estocagem definitiva ou temporária de estéril e materiais diversos provenientes da mineração deve ser realizada com o máximo de segurança e o mínimo de impacto no ambiente.
- Não devem ser promovidas modificações dos locais e nas metodologias de estocagem sem prévia comunicação, devidamente documentada, ao DNPM.
- A disposição de estéril, rejeitos e produtos deve observar os seguintes critérios:
 - a) devem ser adotadas medidas para se evitar o arraste de sólidos para o interior de rios, lagos ou outros cursos de água conforme normas vigentes
 - b) a construção de depósitos próximos às áreas urbanas deve atender aos critérios estabelecidos pela legislação vigente garantindo mitigação dos impactos ambientais eventualmente causados
 - c) dentro dos limites de segurança das pilhas não é permitido o estabelecimento de quaisquer edificações, exceto edificações operacionais, enquanto as áreas não forem recuperadas, a menos que as pilhas tenham estabilidade

comprovada

- d) em áreas de deposição de rejeitos e estéril tóxicos ou perigosos, mesmo depois de recuperadas, ficam proibidas edificações de qualquer natureza sem prévia e expressa autorização da autoridade competente
- e) no caso de disposição de estéril ou rejeitos sobre drenagens, cursos d'água e nascentes, deve ser realizado estudo técnico que avalie o impacto sobre os recursos hídricos, tanto em quantidade quanto na qualidade da água;
- f) obediência a uma geometria definida com base em análises de estabilidade
- g) efetuar drenagem das bermas e plataformas
- h) construir canais periféricos a fim de desviar a drenagem natural da água da pilha e proteção superficial com vegetação dos taludes e bermas já construídos.
- f) obediência a uma geometria definida com base em análises de estabilidade
- g) efetuar drenagem das bermas e plataformas
- h) construir canais periféricos a fim de desviar a drenagem natural da água da pilha e
- i) proteção superficial com vegetação dos taludes e bermas já construídos.

– É necessária a implantação de sistema de drenagem para evitar inundações no caso de disposição em vales.

– A jusante do pé da pilha devem ser implantados dispositivos de retenção de assoreamento.

3.3.1 Reutilização de rejeitos

Legislação: No Brasil, o primeiro dispositivo legal visando a minimizar os impactos negativos causados por mineração, foi a Lei nº 6938, de 31/08/1981, que, através do Decreto Federal nº 88.351, instituiu o Licenciamento Prévio (LP), Licenciamento de Instalação (LI) e Licenciamento de Operação (LO). A partir de 1986, com a Resolução do CONAMA nº 01, estabeleceram-se as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como instrumento da Política Nacional do Meio.

Em 1989, o Decreto Federal nº 97.632 definiu, em seu artigo 1º, que os empreendimentos que se destinam à exploração dos recursos minerais deverão submeter seus projetos à aprovação dos órgãos federais, estaduais e municipais competentes deverão executar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental, bem como o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). E aqueles empreendimentos já existentes deverão regularizar sua situação por meio de um PRAD.

Medidas mitigadoras para os impactos: Devido à grande quantidade de resíduo gerada, as empresas têm utilizado o resíduo grosso para o enchimento da cava das minas desativadas com o intuito de utilização dos resíduos. Assim, a proporcionar a valorização do resíduo e a redução dos impactos ambientais provocados pelos mesmos.

E como cumprimento das Legislações vigentes, treinar e capacitar os funcionários das empresas e empreiteiras sobre segurança no trabalho e proteção ambiental; Incluir a elaboração de PRAD's feitos em função dos EIA's/RIMA's;

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas oriundos da extração e do beneficiamento das rochas, no Km 21 zona rural de Campina Grande-PB, podem ser minimizados com um estudo prévio de viabilidade da jazida e dos impactos ambientais gerados nesses processos. Observou-se que a aplicação do método de listagem Chek List se apresentou como uma alternativa viável para identificação de impactos ambientais negativos na atividade de mineração, fazendo-se necessárias alternativas mitigadoras para minimização dos danos ambientais observados, como a recuperação dos taludes; aterramento das crateras; bem como a utilização dos rejeitos em obras de construção civil (calçadas, na argamassa, muros, dentre outros), obtendo, assim, alternativas possíveis para a reutilização deste material e ainda corroborando para a minimização dos impactos ocasionados ao meio ambiente.

Para uma aplicação correta e economicamente viável de um determinado resíduo é necessário um estudo prévio do mesmo, para o conhecimento de suas propriedades química, física e mineralógica. A utilização de resíduos minerais é importante tanto do ponto de vista social e ambiental, quanto do

técnico e econômico, uma vez que proporciona: um uso eficiente dos recursos; valorização do resíduo; geração de novos empregos; redução dos custos com o seu descarte e redução dos impactos ambientais.

Apesar da importância econômica que a atividade de mineração representa para as localidades onde estas são realizadas, cabe ressaltar que o modo como vem sendo desenvolvidas caracteriza um total descaso para com o meio ambiente. Fato que não é diferente na situação ora estudada. Ressalta-se ainda a falta de utilização de Equipamentos de Proteção Individual, que provocam riscos à saúde humana na área em estudo. É, portanto, imperativo que os empreendimentos atuais e novas investidas exploratórias de recursos minerais, sejam feitas com base em estudos prévios de detalhe sobre o meio ambiente, acompanhadas de campanhas de educação ambiental e conscientização dos trabalhadores e moradores sobre os riscos oferecidos pela atividade mineradora.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. São Paulo: ABNT, 2004. 9 p.
- ALVES, Francisco. Política Ambiental - A Mineração está tentando fazer o seu dever de casa. Publicada na Revista eletrônica Brasil Mineral – Edição Especial Mineração e Meio Ambiente, no 228, jun 2004. Consultada em www.brasilmineral.com.br/BM/pdf/228/228%20%20Politica%20Ambiental.pdf#search=%22barragem%20rejeito%22
- ARAUJO, J. S. B.; FARIAS, P. S. C.; SÁ, A. J. de. Mineração e Industrialização da Bentonita e as transformações/permanências no espaço agrário de Boa Vista-PB: um estudo de caso dos Sítios Bravo e Urubu. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, n. 3, set/dez. 2008.
- BACCI, D. De L. C.; LANDIM, P. M.B; ESTON, S. M. de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. REM - Revista Escola de Minas. v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2002). Resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002. Consultado em arquivo digital, e parcialmente extraído do endereço: www.sgguarani.org/index/pdf/gestion_integrada_del_agua/legisla/br/cnrh/search=%22disposi%C3%A7%C3%A3o%20est%C3%A9ril%22
- CORINO, L. H. Avaliação de Impacto Ambiental. Endereço eletrônico: http://www.trecsson.com.br/arquivos/downloads/arq_17.dat Acessado em: Agosto, 2012.
- IBRAM (1987) Mineração e Meio Ambiente. IBRAM, Belo Horizonte, 59p.
- MACHI, M, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. In: Revista Estudos Avançados, 24 (68), 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/16.pdf>. Acesso em: 18/10/2011.
- PEREIRA, O. N. Gesso e rejeito de Caulim na correção de um solo salinizado e no crescimento de gramíneas. Patos-PB, 2008. 27 p. Monografia – Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande.
- PEREZ, B. C. As rochas e os minerais industriais como elemento de desenvolvimento sustentável. Série Rochas e Minerais Industriais; 3. Centro de Tecnologia Mineral, 37p. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.
- SILVA, E. Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil. 1999. 309 f.
- Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: 1999. Endereço eletrônico: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_121_785_15703.pdf. Acessado em: Agosto, 2012.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA OS RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS DE QUARTZITOS NO ESTADO DA PARAÍBA

Elbert Valdiviezo Viera¹

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – Universidade Federal de Campina Grande
Av. Aprígio Veloso, 882 – Cidade Universitária, CEP 58109-900, Campina Grande – PB.
E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

RESUMO

No beneficiamento de quartzitos, a rocha passa primeiramente pelo deslocamento manual com ferramentas simples. Esses blocos são posteriormente cortados em máquinas de corte, onde são obtidos paralelepípedos com dimensões diversas e padronizadas. As máquinas de corte possuem um disco diamantado, ou mais de um disco, o qual facilita o corte dos blocos. A escolha do tamanho da máquina de corte dependerá do tamanho de paralelepípedos a serem obtidos. As máquinas de corte operam acionadas por um motor elétrico e durante o seu funcionamento o disco diamantado é refrigerado de forma contínua com água. A função da água é resfriar o disco enquanto desbasta a rocha e, desta forma, facilitar a serragem do bloco. No entanto, essa operação causa a geração de um efluente sólido/líquido constituído por partículas micrométricas da rocha (quartzito), partículas metálicas de ferro provenientes do desgaste do disco de corte, e água que foi usada na refrigeração do disco. O presente trabalho foi elaborado com base nas visitas técnicas realizadas às áreas onde é realizado o beneficiamento de quartzitos, localizadas no município de Várzea-PB. A finalidade das visitas foi a coleta de informações e dados em duas empresas de serragem de blocos e com esses subsídios projetar e dimensionar uma unidade de tratamento de efluentes sólido/líquido. A porcentagem de sólidos do efluente corresponde a 63 % e a densidade de polpa foi de 1,54 g.mL⁻¹. Verificou-se que as partículas apresentam uma boa taxa de sedimentação. O design do tanque de tratamento de efluentes sólido/líquido foi projetado com base nas características de um tanque para espessamento de partículas, em escala industrial e regime de operação descontínuo. O efluente líquido poderá ser recirculado ou reaproveitado pelas máquinas de corte desde que previamente seja passado por filtros para remoção de partículas ultrafinas e coloidais. Essa operação consiste de uma filtração no qual o efluente líquido passa através de cartuchos contendo um elemento filtrante (meio filtrante) que retém o material sólido. A bacia de deposição estará localizada próxima aos tanques de tratamento de efluentes. O material sólido gerado pelos tanques será direcionado para a bacia de deposição onde será armazenado. A configuração sugerida para a bacia permite uma boa arrumação e acomodação do efluente sólido.

1. INTRODUÇÃO

A produção de quartzitos foliados e de ardósias no Brasil, e principalmente em Minas Gerais, têm mantido uma média de crescimento muito significativa, mostrando um perfil importante de competitividade entre as rochas comercializadas no mercado externo. A exportação de quartzitos foliados já atingiu 15,6% do total de rochas comercializadas no Estado de Minas Gerais. As exportações de quartzitos nesse Estado representaram 87,5% em valores do total exportado no País (Abirochas, 2003). A produção de quartzitos foliados em Minas Gerais estima-se que chegue a 300 mil t/ano, o que equivale a 5,2 milhões de m² em chapas com espessura média de 2 cm. Essa atividade gera aproximadamente 6.000 empregos diretos, distribuídos em pelo menos 140 empresas ativas na lavra e no beneficiamento. Das quatro áreas de lavra existentes, a mais importante é a de São Tomé das Letras, vindo em seguida Altinópolis, Ouro Preto, e Diamantina.

A lavra de quartzitos foliados de São Tomé das Letras ainda é bastante rudimentar, no entanto, já existem empresas aplicando alguns métodos de modernização. O processo de beneficiamento é também ainda muito simples, sendo realizado normalmente através do corte manual ou serrado com máquinas multidisco, observando-se aos poucos o emprego de novas tecnologias e diversificação de produtos comerciais. Os produtos confeccionados são de lajotas quadradas e retangulares, blocos almofadados, cavacos e filetes, além de novos produtos como placas polidas, pedra pavê, e outros. A produção destina-se principalmente ao mercado interno e à exportação.

O aspecto ambiental é atualmente a principal demanda para o setor produtivo de quartzitos foliados no Brasil. Essa demanda implica fundamentalmente a adequação dos métodos de lavra, e melhoria das porcentagens de recuperação na extração para credenciamento ambiental dessa atividade. Para isso, é crucial a gestão e aproveitamento de resíduos da lavra e rejeitos provindos no beneficiamento (Abirochas, 2001).

1.1 Lavra e Beneficiamento de Quartzitos

No Estado da Paraíba, a produção de rochas ornamentais e de revestimento, a pesar de não ser muito significativa, em termos proporcionais, comparada ao Brasil, se destaca porque envolve uma ampla diversidade de tipos de granitos exóticos, bem como de rochas de quartzitos com padrão de beleza e qualidade, possibilitando grande aceitação no mercado interno e externo. O quartzito devidamente beneficiado pode ser usado como pedra decorativa para o revestimento de paredes e muros externos, ambientes internos de residências, em jardins, pergolados, em piscinas, em pisos, e outros ambientes (Valdiviezo, 2011).

Quando o quartzito é lavrado, a rocha passa primeiramente pelo deslocamento manual com ferramentas simples como pixote, ponteira, marreta, entre outras. Esses blocos são posteriormente beneficiados nas serrarias, cortados em máquinas de corte, onde são obtidos paralelepípedos com dimensões diversas. As máquinas de corte possuem um disco diamantado, ou mais de um disco (máquina multidisco), o qual facilita o corte dos blocos. Os tamanhos dos discos (diâmetro) são variados, e a sua seleção depende das dimensões do bloco que irá ser trabalhado. Existem vários tamanhos de disco, para máquinas de corte de pequeno, médio, e de grande porte, equipadas com disco simples ou multidisco. A escolha do tamanho da máquina de corte dependerá do tamanho de paralelepípedos a serem obtidos (Valdiviezo *et al*, 2010).

As máquinas de corte operam acionadas por um motor elétrico e durante o seu funcionamento o disco diamantado é refrigerado de forma contínua com água. A função da água é resfriar o disco enquanto desbasta a rocha e, dessa forma, facilitar a serragem do bloco. No entanto, essa operação causa a geração de um efluente sólido/líquido constituído por partículas micrométricas da rocha (quartzito), partículas metálicas de ferro provenientes do desgaste do disco de corte, e água que foi usada na refrigeração do disco.

1.2 Projeto: Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzitos

O projeto de pesquisa e desenvolvimento “Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzitos”, foi iniciado em 2009, com financiamento do MCT/FINEP, teve como instituições responsáveis o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI) e a Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior (ATECEL) do Estado da Paraíba. Na execução do projeto participaram além do CETEM, a UFCG, o SEBRAE/PB, o INSA, Governo do Estado da Paraíba, através da Secretaria de Turismo e Desenvolvimento Econômico (SETDE), a CDRM/PB, e a SUDEMA/PB.

As empresas beneficiadas com a execução do projeto foram duas serrarias do município de Várzea-PB que respondem com os nomes comerciais de: Revestir Comércio e Exportação de Pedras Ltda., e

Serraria Pedra Itacolomy Ltda. Também foi beneficiada a empresa Tecquímica que se dedica à fabricação de argamassa uso na construção civil. O projeto foi concluído em fevereiro de 2012, tendo-se obtido resultados muitos satisfatórios, principalmente, amadurecendo um dos principais objetivos do projeto de consolidação de um Arranjo Produtivo - APL de rochas quartzitos na região.

O presente trabalho teve por finalidade a realização de visitas técnicas e coleta de dados nas duas empresas de serragem de blocos de quartzitos, anteriormente citadas, e com esses subsídios projetar e dimensionar uma unidade de tratamento de efluentes sólido/líquido, gerados durante o beneficiamento da rocha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e Acesso

O município de Várzea situa-se na região do Polígono das Secas. Limita ao norte com os municípios de Ouro Branco-RN e São José do Sabugi-RN, ao leste com Ouro Branco-RN e Santa Luzia-PB, ao sul com Santa Luzia-PB e São Mamede-PB e, ao oeste, com São Mamede-PB e São João do Sabugi-RN. O município possui área de 147km². O acesso é através da rodovia federal, BR 230, leste-oeste, em percurso de 135 km até Santa Luzia, a partir de Campina Grande-PB, passando pelos municípios de Soledade, Juazeirinho e Assunção. A partir daí, segue-se para o noroeste, através de rodovia estadual PB 233, em trecho de 15 km, até chegar à cidade de Várzea, sede do município. O acesso a área se dá pela PB 233, com sentido para a cidade de Caicó-RN, percorrendo-se cerca de 5 km até a entrada, à direita.

2.2 Amostragem

Em uma primeira etapa se procedeu à coleta de informações e dados in loco nos ambientes destinados ao beneficiamento da rocha, bem como à coleta de amostras do efluente gerado na serragem de blocos, e também na bacia de decantação. Foi necessário realizar medições de vazão do efluente em cada uma das máquinas e quantificar o número de máquinas em operação. Os materiais usados na coleta de amostras foram: trena de 10 m, cronômetro digital, funil, provetas graduadas de 1.000 mL, sacos plásticos e câmara digital.

Atualmente, cada uma das serrarias possui o seu próprio sistema de tratamento de efluentes. No entanto, algumas variantes no design e na capacidade dos tanques de sedimentação devem ser realizadas a fim de tornar o processo mais eficiente.

2.3 Determinação da Vazão do Efluente

Na Tabela I são mostrados dados referentes ao número de máquinas de corte em operação, e vazão do efluente gerado por cada serraria. Conforme mostra a Tabela I, a vazão do efluente que alimenta os tanques de sedimentação foi de 1,2 m³.h⁻¹. e de 2,8 m³.h⁻¹, para a serraria Itacolomy e Revestir Pedras, respectivamente. As medições foram realizadas no dia 28.07.2010, às 14:00 h, quando operavam 5 máquinas e 15 máquinas, para a serraria Itacolomy e Revestir Pedras, respectivamente. É importante mencionar que o número total de máquinas de corte disponíveis para o beneficiamento do quartzito, correspondeu a 10 e 25, para a serraria Itacolomy e Revestir Pedras, respectivamente.

Tabela I –Vazão do efluente gerado por cada serraria.

Serraria Itacolomy				Serraria Revestir Pedras			
Total de máquinas de corte	Total de máquinas em operação	Limpeza do tanque por semana	Vazão do efluente ($m^3 \cdot h^{-1}$)	Total de máquinas de corte	Total de máquinas em operação	Limpeza do tanque por semana	Vazão do efluente ($m^3 \cdot h^{-1}$)
10	5	2	1,2	25	15	1	2,8

A vazão do efluente calculada correspondente ao total de máquinas disponíveis, e foi de $2,4 m^3 \cdot h^{-1}$ e de $4,7 m^3 \cdot h^{-1}$, respectivamente, para ambas as serrarias. Esses valores foram calculados, em termos proporcionais, considerando-se uma situação que tanto as 10 máquinas de corte (serraria Itacolomy) e as 25 máquinas (serraria Revestir Pedras) encontrem-se em funcionamento. Essas são as vazões totais de efluente gerado por cada uma das serrarias. No entanto, essa vazão pode sofrer eventualmente algumas variações, resultando em menores vazões, entre outros fatores, por máquinas paradas em decorrência de manutenção, ou substituição de peças.

2.4 Ensaios de Sedimentação

Com o intuito de se avaliar a sedimentação das partículas, contidas no efluente gerado pelas serrarias, foram realizados ensaios laboratoriais empregando-se provetas graduadas em diferentes condições experimentais (Figura 1). Para isso, o material gerado pelas máquinas de corte foi coletado em recipientes de 1 L providos de tampa. Com as amostras no laboratório foi determinada a porcentagem de sólidos (%), densidade do efluente, a distribuição granulométrica das partículas, e a taxa de sedimentação.

A porcentagem de sólidos do efluente corresponde a 63 %, o que representaria que para cada 100 g do efluente, 63 g é material sólido e 37 g de água. Esse valor pode, no entanto, apresentar algumas variações, inclusive podendo ser menor a esse valor, já que o teor de sólidos depende da quantidade de água adicionada ao efluente, desde a etapa de refrigeração do disco de corte, até a deposição do efluente nas bacias de sedimentação. Outro parâmetro determinado foi a densidade do efluente que foi de $1,54 g \cdot mL^{-1}$. Esse valor representa que 1 L de efluente possui uma massa ou peso de 1.540 g.

Na Figura 1 observa-se detalhe do ensaio de sedimentação realizado em provetas com três diferentes porcentagens de sólidos, que foram: 10%, 20% e 30% de sólidos, para um volume de 1 L de efluente. O ensaio foi efetuado com variação do tempo (em minutos) em função da altura (cm) do material sedimentado no fundo da proveta. Assim os tempos ensaiados foram: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min respectivamente. Para cada tempo foi medida a altura alcançada pelo material sólido depositado na proveta.

O ensaio de sedimentação de partículas em proveta pode ser comparado ao processo de sedimentação (ou espessamento) de partículas em tanques de sedimentação ou em espessadores (processo industrial). Em ambos os processos se observa a formação de quatro fases diferenciadas, que são: uma fase sólida formada no fundo da proveta, uma fase intermediária que possui a mesma consistência do material de alimentação, uma fase de transição que possui a consistência entre a alimentação e o material sedimentado, e a última fase corresponde à fase líquida. Ao final do processo registram-se somente duas fases, a fase sólida e a fase líquida (Figura 1).



Figura 1 – Detalhe do ensaio de sedimentação realizado no laboratório com 10%, 20% e 30% de sólidos.

Verificou-se que as partículas apresentaram uma boa taxa de sedimentação, já que com um tempo de 10 a 15 min a sedimentação era quase completa. Observou-se que uma quantidade muito pequena de partículas, de tamanho sub-micrométrico e coloidal permaneceu ainda em suspensão na proveta, mostrando uma baixíssima taxa de sedimentação. Como a porcentagem dessas partículas é muito pequena, as mesmas podem ser retiradas junto á fase líquida do processo.

2.5 Análise Granulométrica

Conforme mostrado na Figura 2, observa-se que, o 50% de todo o material sólido encontra-se em uma granulometria menor que 27,8 micrômetros. É importante ressaltar que o $d_{80} = 87,1 \mu\text{m}$. O d_{80} significa que 80% do material encontra-se numa granulometria menor que 87,1 micrômetros. Estabelecendo-se uma comparação com a escala Tyler, menciona-se que a malha 200# corresponde a 74 micrômetros. Um tamanho de partícula de $87,1 \mu\text{m}$ é um pouco acima dessa granulometria. Essa distribuição granulométrica apresentada pelo material sólido se refletiu na boa taxa de sedimentação das partículas.

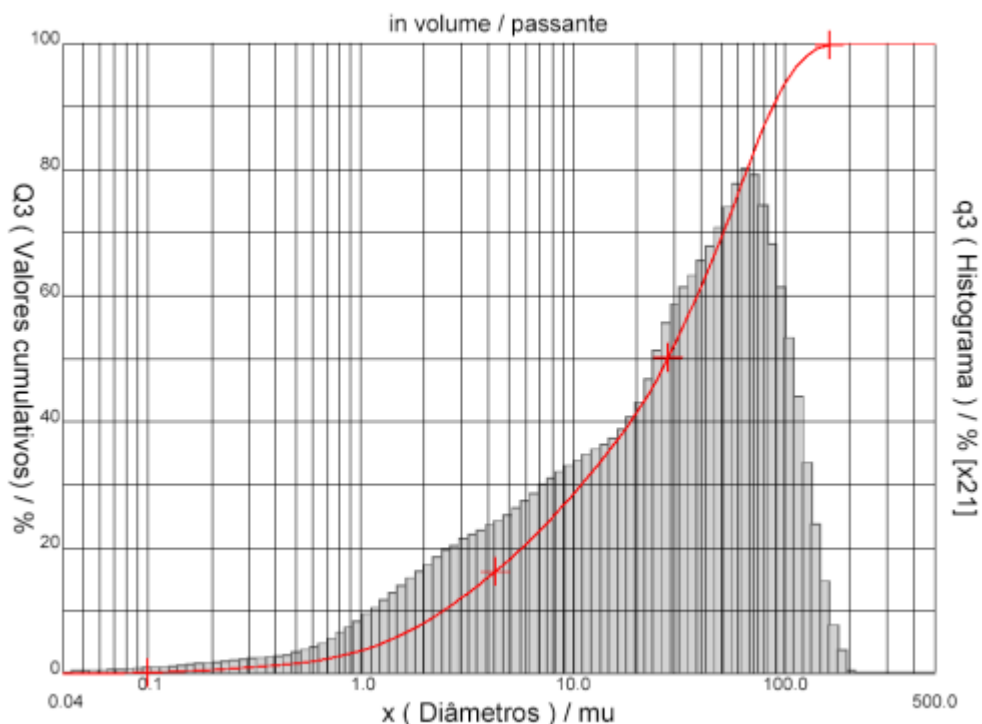


Figura 2 - Análise granulométrica, com emprego do sedígrafo, realizada com uma amostra do efluente gerado na Serraria Itacolomy.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se que na área desenvolvem atividades duas serrarias, seria recomendado que ambas empresas disponham de unidades separadas de tratamento dos seus efluentes. Salvo que, haja interesse e, ambas as empresas decidam de comum acordo instalar apenas uma unidade de tratamento de seus efluentes para uso compartilhado.

Na determinação do volume de efluente a ser tratado optou-se por ter como referência a capacidade atual dos tanques de sedimentação. Esse valor foi multiplicado por um fator ($F=2,5$) para se obter a capacidade dos novos tanques de sedimentação. Com essa premissa, a capacidade dos novos tanques de tratamento do efluente sólido/líquido passaria de 5 para $12,5 \text{ m}^3$ (serraria Itacolomy) e de 8 para 20 m^3 (serraria Revestir Pedras). Essas novas capacidades dos tanques incluiriam possíveis ampliações das empresas como, por exemplo, a aquisição de novas máquinas de corte. Esse fator incluiria também dois parâmetros importantes que são: a vazão total do efluente que alimentará essas unidades e a taxa de sedimentação das partículas. A vazão total do efluente estimado correspondeu a $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (serraria Itacolomy) e a $4,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (serraria Revestir Pedras). Conforme foi verificado, pelos ensaios laboratoriais, há uma boa taxa de sedimentação, em água, das partículas do efluente (Figura 1).

3.1 Design do Tanque de Sedimentação

O design da unidade de tratamento de efluentes sólido/líquido foi projetado com base nas características de um tanque para espessamento de partículas, em escala industrial e regime de operação descontínuo. Entre essas características mencionam-se as seguintes: possuir grande área superficial para que as partículas se espalhem adequadamente, possuir pequena altura para que o material atinja o fundo do tanque no menor tempo. A parte inferior deve apresentar forma afunilada, para facilitar a acomodação e sedimentação das partículas na parte inferior do tanque e sua subsequente remoção (França, 2010).

Na parte central o tanque possui uma caixa aberta por cima para acomodação da alimentação do efluente. Esse reservatório ou caixa de alimentação deve ser construído com um fundo falso para propiciar a saída periférica do efluente para o tanque principal. Esse sistema inibirá perturbações ao meio de sedimentação das partículas, propiciando um fluxo laminar de sedimentação em queda impedida ou retardada.

Na parte superior o tanque deve possuir uma calha periférica com inclinação de 2° (dois graus) para escoamento da fração líquida, aproveitando a força da gravidade. Assim a fração líquida separada do efluente transbordaria pelo tanque sendo coletada pela calha. O tanque é aberto na parte superior, mas deve possuir uma estrutura, em metal, para dar sustentação à caixa de alimentação.

O tanque deve ser construído, preferencialmente, de tijolo, revestido interiormente com cimento e/ou recoberto com resina impermeabilizante à água. A caixa de alimentação deve ser construída com chapa metálica. A calha periférica deve ser de metal (ou em PVC) com secção quadrada ou circular de 2 polegadas de lado ou diâmetro. A calha é aberta na parte superior, sendo que o comprimento de calha total.

3.2 Características do Tanque

Para o tanque de sedimentação recomendam-se as seguintes características e dimensões (Figura 3).

Serraria Itacolomy

A parte superior, com geometria de paralelepípedo, deve possuir 2,0 x 2,0 m (ou 4 m² de área) x 1,0 m de altura. A parte inferior, com geometria trapezoidal, deve ter 1 m de altura e na base 1,0 x 1,0 m (ou 1 m² de área). A caixa de alimentação terá 0,50 x 0,50 x 0,50 m de altura, sendo aberta na parte superior e com um fundo falso na parte inferior. A capacidade do tanque (4 m³ na parte superior e 2 m³ na parte inferior) é de 6 m³. Colocando dois desses tanques, um ao lado outro, tem-se uma capacidade total de 12 m³. A Figura 3 apresenta um esquema do tanque, com vista frontal e de planta, mostrando detalhes de suas medidas.

Serraria Revestir Pedras

O design do tanque é igual ao anterior, apenas há diferença nas dimensões. A parte superior deve possuir 2,50 x 2,50 m (ou 6,25 m² de área) x 1,0 m de altura. A parte inferior, com geometria trapezoidal, deve ter 1 m de altura e na base 1,50 x 1,50 m (ou 2,25 m² de área). A caixa de alimentação terá 0,50 x 0,50 x 0,50 m de altura, sendo aberta na parte superior e com um fundo falso na parte inferior. A capacidade do tanque (6 m³ na parte superior e 4 m³ na parte inferior) é de 10 m³. Colocando-se dois desses tanques, um ao lado outro, tem-se uma capacidade total de 20 m³.

No momento atual, dois desses tanques com as dimensões e características sugeridas (6 m³ e 10 m³ para a serraria Itacolomy e Revestir, respectivamente), realizariam sem problema o tratamento do efluente gerado pelas máquinas de corte. No futuro, recomenda-se a construção de um tanque adicional a fim de evitar futuros transtornos. Por outro lado, se for de interesse das serrarias por projetos de tanque mais rasos, ou seja, com pouca profundidade, a altura pode ser diminuída, desde que a área superficial seja aumentada proporcionalmente, a fim manter constante a capacidade do tanque.

3.3 Funcionamento do Tanque de Sedimentação

Os tanques de sedimentação operarão em um processo descontínuo, ou seja, a fração sólida será removida através de bombeamento do fundo do tanque para a bacia de deposição. Para isso, bombas centrífugas de polpa poderão ser usadas. Caso haja uma excessiva compactação do material sólido, no tanque, a descompactação poderá ser realizada manualmente com uso de pás. Essa operação

descontínua, envolvendo paralisação temporal do processo, pode ser praticada em vista de que, o volume de efluente sólido/líquido a ser tratado por dia é pequeno.

O tanque será cheio com água limpa até sua capacidade máxima. Em seguida, o efluente proveniente das máquinas de corte será colocado na caixa de alimentação do tanque. Esse material irá para o fundo da caixa de alimentação e será imediatamente distribuído por ela, para o interior do tanque. Assim as partículas sólidas irão sedimentando, ao longo do tempo, e irão para o fundo do tanque. Enquanto que o efluente líquido irá transbordando do tanque e será coletado pela calha periférica.



Figura 3 – Detalhes da construção dos tanques de sedimentação recomendados para o tratamento de efluentes nas serrarias de Várzea-PB.

3.4 Tratamento do Efluente Líquido

O efluente líquido pode ser recirculado ou reaproveitado pelas máquinas de corte desde que previamente seja passado por filtros para remoção do material sólido em suspensão. Essa operação consiste de uma filtração no qual o efluente líquido passa através de cartuchos contendo o elemento filtrante (meio filtrante) que retém o material sólido de tamanho coloidal, passando apenas a água, a qual iria para caixas de 2.000 L de volume, onde seria armazenada.

3.5 Bombeamento de Polpa

Para o bombeamento da polpa recomenda-se o uso de bombas centrífugas em razão de sua simplicidade de operação, pequeno custo, manutenção simples e por terem ampla flexibilidade. Essa bomba consiste de uma carcaça fechada que se comunica com tubos de aspiração (sucção) e saída. No seu interior, parte central, possui um rotor dotado de palheta. O material é aspirado pela bomba entrando no eixo do rotor e é lançado para a periferia pela ação centrífuga. A bomba de rotor aberto é usada no bombeamento de efluentes sólido/líquido ou de polpas de minerais.

A bomba centrífuga deve apresentar as seguintes características: motor elétrico de 220 volts; 60 Hz; potência de 3 a 5 CV; 3.500 rpm; vazão de 7 a 12 m³.h⁻¹, conexão de sucção de 2 polegadas de diâmetro e conexão de saída de 1-1/2 a 2 polegadas.

3.6 Bacia de Deposição do Efluente Sólido

A bacia de deposição estará localizada próxima aos tanques de sedimentação. O material sólido gerado pelos tanques será direcionado para a bacia de deposição onde será armazenado. Essa bacia deve possuir as seguintes características e dimensões. O terreno com dimensões de 20 x 20 m (ou 400 m² de área) estará limpo e nivelado. Um muro com altura mínima de 1 m de altura será construído sendo que o ângulo formado entre os muros, ao lado esquerdo e ao lado direito dessa barragem, é de 120° a 135°. Essa configuração da bacia permite uma boa arrumação e acomodação do efluente sólido. O material usado para construção dessa barragem será o próprio resíduo de blocos de quartzitos, gerados na lavra, sendo cimentados com cimento e areia.

3.7 Unidade de Tratamento de Efluentes

O efluente descartado pelas máquinas de corte é transportado através de tubulação ou calha, tendo inclinação suficiente para facilitar o escoamento, e então o efluente será colocado diretamente na caixa de alimentação do tanque de sedimentação. Nele é gerado um efluente sólido e um efluente líquido. O destino do material sólido é a bacia de deposição. Enquanto que o efluente líquido irá para filtração. A água obtida a partir desse processo de filtração irá ser acondicionada em um reservatório com tampa, para o seu reaproveitamento na própria serraria. A Figura 4 mostra detalhes da unidade de tratamento de efluentes numa das serrarias de Várzea, já em operação.



Figura 4 – Detalhes da unidade de tratamento de efluentes em uma serraria de Várzea, já em operação.

4. CONCLUSÕES

A serragem dos blocos de quartzito causa a geração de um efluente sólido/líquido constituído por partículas micrométricas da rocha, partículas metálicas de (aço) ferro provenientes do desgaste do disco de corte, e água que foi usada na refrigeração do disco.

A porcentagem de sólidos do efluente corresponde a 63 % e a densidade de polpa foi de 1,54 g.mL⁻¹. As partículas apresentam uma boa taxa de sedimentação, já que com um tempo de 10 a 15 min sua sedimentação era quase completa.

A capacidade dos novos tanques de tratamento do efluente sólido/líquido foi de 12 m³ (serraria Itacolomy) e 20 m³ (serraria Revestir Pedras). Essas novas capacidades dos tanques incluem, entre outros fatores, possíveis ampliações das empresas como, por exemplo, a aquisição de novas máquinas

de corte. O design do tanque de tratamento de efluentes sólido/líquido foi projetado com base nas características de um tanque para espessamento de partículas, em escala industrial e regime de operação descontínuo.

O efluente líquido pode ser recirculado ou reaproveitado pelas máquinas de corte desde que previamente seja passado por filtros para remoção de partículas ultrafinas e coloidais. Para o bombeamento do efluente sólido recomenda-se o uso de bombas centrífugas de rotor aberto.

A bacia de deposição estará localizada próxima aos tanques de sedimentação. A configuração recomendada para a bacia permite uma boa arrumação e acomodação do efluente sólido.

5. AGRADECIMENTOS

Ao MCTI/FINEP pelo apoio financeiro. Ao CETEM/MCT pelo apoio técnico. Ao Coordenador Geral do projeto Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal. À ATECEL pelo logístico prestado. Ao Marcos Magalhães do SEBRAE/PB. Ao Marcelo Falcão da SETDE/PB. Ao Prof. Antônio Pedro Ferreira de Sousa. Ao Ranieri Pereira, a Ligia Mara Gonzaga e a Ailma Robéria Souto Medeiros do Curso de Graduação em Engenharia de Minas da UFCG. Ao Prof. Marcondes Mendes de Souza do IFRN.

REFERÊNCIAS

Abirochas. (2003). Os quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais: Principais demandas para o desenvolvimento sustentável da atividade produtiva. Documento elaborado por D. K. Chiodi, São Paulo, 9p.

Abirochas. (2001). Rochas ornamentais no século XXI: Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras, Rio de Janeiro, CETEM/Abirochas, 160p.

França, S.C.A. e Massarani, G. (2010). Separação sólido-líquido. In: Tratamento de minérios, Editores A.B. Luz, CETEM/MCT, Rio de Janeiro-RJ, p.637-678.

Valdiviezo, E.V. (2011). Dimensionamento da unidade de tratamento de efluentes sólido/líquido gerado no beneficiamento de quartzitos em Várzea-PB. Relatório técnico UAMG/CTRN/UFCG. Projeto: Tecnologia avançada para mineração de quartzitos, 20p.

Valdiviezo, E.V., Souza, M.M., Medeiros, A.R.S., e Gonzaga, L.M, (2010). Aproveitamento de resíduos do beneficiamento de quartzitos para fabricação de argamassas e outros produtos. Relatório técnico UAMG/CTRN/UFCG. Projeto: Tecnologia avançada para mineração de quartzitos, 10p.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

GERAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CONTENDO RESÍDUOS ORIUNDOS DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

R. C. C. Ribeiro¹ e J. C. G. Correia¹

¹Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 21941-908. e-mail: rcarlos@cetem.gov.br; jguedes@cetem.gov.br

RESUMO

O corte e o beneficiamento de rochas ornamentais, mármore e granitos, gera toneladas de resíduos, grossos e/ou finos, que acabam causando enormes problemas ambientais. Com isso, entidades governamentais buscam alternativas para a utilização destes resíduos. Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua composição em torno de 95% de agregados minerais e 5% de cimento asfáltico de petróleo - CAP. Baseado nisso, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de utilização de resíduos minerais graníticos como agregado mineral em misturas asfálticas. Para tal, realizou-se uma britagem, a fim de se obter um conjunto de agregados nos seguintes tamanhos: brita 0, brita 1 e pó de pedra. Posteriormente, realizaram-se ensaios de abrasão Los Angeles, índice de forma, densidades real e aparente, análises química e mineralógica. Por fim, foram realizados ensaios de adsorção e de resistência mecânica (LOTTMAN) com misturas asfálticas, à quente, utilizando-se tais resíduos minerais e um CAP oriundo do Rio de Janeiro. Pôde-se verificar que o resíduo enquadrou-se segundo às normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte -DNIT para agregados minerais, além de apresentar um valor de resistência mecânica LOTTMAN superior a 130%, indicando que estes resíduos podem ser considerados um novo insumo para o setor de pavimentação. Além disso, tal aplicação será responsável em mitigar o impacto ambiental causado pelas pedreiras e serrarias de mármore e granitos.

Palavras-chave: Rochas ornamentais, resíduos de rochas, pavimentação asfáltica.

1. INTRODUÇÃO

Alguns países, como o Brasil, que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a extração de rochas ornamentais encontra-se em acelerado desenvolvimento enfrentam sérios problemas com os resíduos provenientes da extração e beneficiamento das peças de granito. Esses resíduos contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população (Silva, 1998).

A retirada de blocos de granito para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerados pela quebra das peças durante o corte que se acumulam no entorno das pedreiras e/ou serrarias, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de gralha, de cal e de rocha moída (aluminossilicatos, feldspato e quartzo), que após o processo são acumuladas em aterros ou nas próprias serrarias (Farias, 1995).

A fina granulometria, composição pré-definida (granito moído, cal e gralha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos dos resíduos gerados impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores da indústria, como na produção de argamassas, cimento, tijolos e telhas (Silva, 1998).

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua mistura, cerca de 95% de agregados minerais (geralmente britas de basalto) e 5% de cimentos asfálticos de petróleo (CAP). O CAP constitui a fração pesada da destilação do petróleo sendo classificado como um material termossensível utilizado principalmente em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas

propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis (Elphinstone, 1997).

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Estes, por sua vez, são responsáveis por suportar o peso do tráfego e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento.

Dentre os agregados minerais mais utilizados podemos citar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o filer. Por representarem mais de 95% da composição do asfalto, os agregados minerais devem ser extraídos da natureza e beneficiados, sendo os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido (Ribeiro, 2003).

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização de um resíduo de oriundo da lavra de um granito como agregado mineral para pavimentação asfáltica.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Origem do Resíduo Mineral

Utilizou-se como agregado mineral um resíduo oriundo da região de Medeiros Neto, localizada no sul do Estado da Bahia.

2.2 Origem do Ligante

Utilizou-se como ligante um CAP-20, oriundo de uma refinaria brasileira.

2.3 Avaliação do Resíduo

2.3.1 Análises Química e Mineralógica

A análise química e mineralógica do conjunto de agregados minerais foi realizada pela Coordenação de análises química e mineralógica do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

2.3.2 Determinação do Índice de Forma

Para determinação da forma dos agregados graúdos utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791, utilizada pelo DNIT.

2.3.3 Abrasão Los Angeles

O ensaio foi realizado segundo a norma DNIT ME 035/98.

2.3.4 Distribuição Granulométrica

O método foi baseado na metodologia descrita na norma DNIT ME 083/98.

2.3.5 Densidade

Para determinação das densidades real e aparente de agregado graúdo utilizou-se as normas ME 081/94 e ME 084/94 preconizada pelo DNIT.

2.3.6 Angularidade

A forma da partícula do agregado fino pode ser qualificado pelo uso da norma ASTM C 1252 “teor de vazios não compactados de agregado fino”. Este ensaio é recomendado pelo programa SHRP no sistema de projeto de mistura SUPERPAVE. Existem três métodos para realização deste ensaio (A, B ou C) (Nascimento, 2005). O método C, que usa a fração do agregado fino menor que 4,75 mm (peneira nº 4), foi o utilizado neste trabalho.

Um cilindro calibrado com 100 mL foi preenchido com agregado fino de graduação pré-definida por meio de fluxo através de um funil colocado a uma altura fixada. O agregado fino foi solto e sua massa determinada por pesagem.

O teor de vazios foi calculado como a diferença entre o volume do cilindro e o volume absoluto do agregado fino coletado no cilindro. Duas medições foram feitas para cada amostra e a média foi utilizada.

Amostras testadas pelo método C podem ser úteis na seleção de proporções de componentes usados em uma variedade de misturas. Em geral, teores de vazios altos sugerem que o material possa ser melhorado por acréscimos adicionais de finos.

2.4 Avaliação da Interação Asfalto/Agregado

2.4.1 Ensaio de Adesividade

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94. Este ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-agregado é imersa em água destilada a 40°C durante 72 h. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película.

2.4.2 Ensaio de Adsorção

O processo de interação CAP/agregados minerais foi realizado utilizando-se maciçamente o ensaio descrito em PI 012384, desenvolvido por nosso grupo de pesquisas e com apoio do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Dessa forma, pretende-se consolidar o ensaio desenvolvido, utilizando-se uma série de agregados minerais com análises químicas diferenciadas e comparar os resultados obtidos com a resistência mecânica de cada asfalto produzido com os respectivos agregados minerais e CAPs.

A metodologia conta primeiramente com a elaboração de uma curva de calibração. Para tal, foi utilizado uma solução de CAP, na concentração 1,0% p/v, de onde se retiraram alíquotas para preparo de soluções com as seguintes concentrações: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L e 0,005 mg/L em tolueno. Essas soluções foram analisadas em um espectrofotômetro de Ultravioleta – visível, marca LAMOTTE, modelo SmartSpectro/spectrol, em comprimento de onda fixo em 402 nm (Gonzales e Middea, 1988), obtendo-se, assim, a curva de calibração (concentração inicial versus absorvância), para cada CAP e seus respectivos constituintes. A partir daí, foram obtidas as equações de reta que são empregadas nos ensaios de adsorção com os agregados minerais, a fim de se obter os valores de adsorção final.

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de agregado mineral, britado e peneirado (diâmetro de partícula < 0,149 mm), respeitando-se as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNER (DNER ME 083/98), sendo colocados em 10 tubos de centrifuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L; 0,0015 mg/L; 0,0025 mg/L; 0,005 mg/L; 0,0075 mg/L; 0,01 mg/L; 0,0125 mg/L; 0,015 mg/L e 0,02 mg/L. A seguir, os tubos foram agitados em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labotechnik, modelo HS501 digital, durante quatro horas e 200 r.p.m.. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m., em centrifuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

Com isso, pode-se obter os valores de absorvância após a adsorção com o agregado mineral. De posse destes valores e de cada equação de reta, pode-se obter os valores das concentrações finais e, conseqüentemente, das adsorções que o CAP teve com o agregado mineral.

2.5 Resistência Mecânica em Misturas Asfálticas (LOTTMAN)

Para avaliação da resistência mecânica utilizou-se os 3 corpos de prova pré-confeccionados. O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência à tração por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo nos corpos de prova, como descrito a seguir: Submeteu-se os corpos de prova imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio por um período de cinco a dez minutos, para aumento do grau de saturação. O corpo de prova saturado foi revestido com filme plástico e colocado em sacos plásticos contendo aproximadamente 10 mL de água.

As amostras foram resfriadas à temperatura de $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 16 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas da refrigeração, sendo uma analisada imediatamente quanto a resistência à tração por compressão diametral.

A outra amostra, após o período de congelamento, foi imersa em banho à temperatura de $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Posteriormente, a amostra foi removida para outro banho com temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 ± 1 hora e então posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O resultado do ensaio é obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como apresentado na equação: Razão de Resistência (%) = $(RC/RSC) \cdot 100$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do Resíduo

3.1.1 Análise Mineralógica

A tabela 1 apresenta o resultado da análise mineralógica realizada com o resíduo onde se pode verificar uma alta concentração de feldspatos, chegando-se a valores em torno de 64 %, e quartzo em torno de 34 %. A fins de comparação foram realizados ensaios com um basalto, amplamente utilizado no processo de pavimentação, onde se pode verificar a grande semelhança entre tais agregados e a possível utilização deste resíduo no processo de pavimentação.

Tabela 1 - Composição Mineralógica dos Agregados Minerais

Minerais (%)	Basalto	Resíduo
Feldspato	64	63,6
Granada	--	2
Piroxênios	30	--

3.1.2 Análise Química

Os resultados obtidos por difração de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na tabela 2. Pode-se verificar que o basalto e o resíduo apresentam resultados muito semelhantes, apresentando um alto teor de sílica e alumina, em torno de 70 e 15%, respectivamente, com relações Si/Al em torno de 4,5, valor este compatível com a literatura para estes materiais (Dana, 1970).

Quadro 2 - Análise Química dos Agregados Minerais

Composição (%)	Resíduo	Basalto
SiO ₂	70,5	72,40
Al ₂ O ₃	18	16,54
K ₂ O	5,6	6,69
Na ₂ O	2,7	3,08
Fe ₂ O ₃	1,4	2,49
CaO	1,2	7,51
MgO	0,1	2,91

3.1.3 Índice de Forma

Para uso em misturas asfálticas, as partículas de agregados devem ser mais cúbicas que planas (chatas), finas ou alongadas. Em misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior intertravamento e atrito interno, resultando, conseqüentemente, uma maior estabilidade mecânica que as partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contém partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, têm uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se obter a densidade requerida.

Esta facilidade de compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de compactar durante a construção podem continuar a apresentar problemas sob ação do tráfego, levando à deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico (Roberts *et al*, 1996).

No que diz respeito ao resíduo em estudo, obteve-se um valor em torno de 58% de forma nem alongada nem achatada, 18% alongada, 10% achatada e 14% ambas.

3.1.4 Abrasão Los Angeles

O valor máximo de abrasão Los Angeles permitido para uso em misturas asfálticas é limitado pelas especificações pertinentes de 40% para algumas agências americanas a 60% para outras (Marques, 2001) No que diz respeito ao resíduo, obteve-se um valor de 22%, classificando tal resíduo como adequado para pavimentação.

3.1.5 Distribuição Granulométrica

Os resultados da distribuição granulométrica do resíduo encontra-se ilustrado na tabela 3, onde se pode observar a adequação do mesmo à faixa C, segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 083/98).

Tabela 3 - Distribuição granulométrica do resíduo.

Abertura das peneiras (mm)	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
+1/2	45	--	--
-1/2" + 3/8"	46,2	--	--
-3/8 + 4"	7,9	1,5	--
-2,5 + 2	0,4	86,3	--
-2 + 1	--	1,2	--
-1 + 0,5	--	--	54,8
-0,5 + 0,297	--	0,1	12,1
-0,297 + 0,177	--	0,1	10,1
-0,177 + 0,149	--	0,2	14
-0,149 + 0,074	--	0,4	5,8
-0,074	0,52	0,4	2,2
Total	100 %	100%	100%

3.1.6 Densidade

Os resultados das densidades real e aparente do resíduo foram respectivamente 2,65 e 2,57 kg/m³. O valor médio para este tipo de rochas é da ordem de 2,65 g/mL, isto porque os constituintes minerais principais dessas rochas, feldspato e quartzo, apresentam valores de densidade real em torno de 2,65 e 2,70 g/mL (Kihel, 1979).

3.2 Avaliação da Interação Asfalto/brita

3.2.1 Ensaio de adesividade

Com relação ao resultado de adesividade, pôde-se verificar o não deslocamento total da película do CAP à superfície do resíduo.

3.2.2 Ensaio de adsorção

No que diz respeito a adsorção físico-química, pôde-se verificar uma adsorção máxima, em torno de 3,6 mg/g para o CAP na superfície do resíduo. Tal fato corrobora os resultados anteriores, evidenciando que os agregados minerais compostos por feldspato e quartzo são os responsáveis pela adsorção com o CAP.

3.3 Resistência Mecânica em Misturas Asfálticas (LOTTMAN)

Com relação aos resultados de resistência mecânica da mistura asfáltica, pôde-se verificar um valor superior a 80% indicando a adequação do resíduo às normas exigidas pelo DNIT para utilização em pavimentação asfáltica.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o resíduo oriundo da pedreira da região de Medeiros Neto – BA pode ser utilizado como agregado mineral para pavimentação asfáltica, sem que haja a necessidade de utilização de melhoradores de adesividade.

REFERÊNCIAS

- AASHTO T 283/89 – LOTTMAN. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, normas ASTM.
- ASTM D 4791 - Partículas chatas e alongadas no agregado graúdo.
- DANA, J. D., Manual de Mineralogia, São Paulo: EDUSP, vols. 1 e 2, 1970.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, p. 6, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, p. 3, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- ELPHINSTONE, G. M., Adhesion and cohesion in asphalt – aggregate systems – Dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.
- FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.
- FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, Carreteras 103, Septiembre, 1999.
- GONZALES, G. e MIDDEA, A., “The properties of the calcite-solution interface in the presence of adsorbed resins or asphaltenes”, Colloids and Surfaces, vol. 33, pp. 217-229, 1988.
- KIEHL, J. E., Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 264, 1979.
- MARQUES, G. L. O., “Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica”, in: I Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- NASCIMENTO, R. R., “Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre”, Dissertação de Mestrado, COPPE- Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto, Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.
- ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R.; LEE D. Y. e KENNEDY T. W., “Hot mix asphalt materials, mixture design and construction”, in: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.
- SILVA, S. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.

APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE QUARTZITOS DA REGIÃO DO VALE DO SERIDÓ – PB

J.C.G.Correia¹, F. W. H. Vidal¹, E. V. Viera², A. R. de Campos¹ e J.B.M. da Costa³

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, jguedes@cetem.gov.br

²Laboratório de Tratamento de Minérios, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, Bloco BS, Cidade Universitária, Campina Grande- PB

³M.Sc. em Engenharia Química, Diretor Técnico da Empresa TECQUÍMICA, Campina Grande- PB

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto APL de Quartzito do Seridó, e realizado pelo CETEM em conjunto com duas microempresas da região do Vale do Seridó, na Paraíba, que se mostraram interessadas em colaborar no aproveitamento dos rejeitos de quartzito, para revestimento (artefatos), bem como na fabricação de argamassas. O artesanato/ artefato mineral vem nas quatro últimas décadas tendo uma expansão e um desenvolvimento sem igual no Brasil. Na região Nordeste do Brasil, essa atividade está sendo implantada e desenvolvida com apoio governamental, com muito sucesso, podendo ser intensificada e priorizada como política pública de inclusão social (geração de emprego e renda) para o desenvolvimento de micro e pequena empresa através dos Arranjos Produtivos Locais – APL. Nada impede que este tipo de atividade de artesanato seja intensificado, fugindo um pouco daquelas ideias do artesanato rudimentar, como é o caso do artesanato cerâmico. Na verdade o artesanato mineral apresenta uma gama extraordinária de opções para o desenvolvimento nos campos de joalheria, ornamentação e de objetos utilitários, podendo ser fabricado através de máquinas e equipamentos mais sofisticados, constituindo-se em linhas de produção, ou seja, indústria de artefatos minerais. Este trabalho possibilitou a concessão de máquinas e equipamentos com o intuito de beneficiamento dos rejeitos grossos, que poderão ser utilizados em mosaicos de diversos tamanhos, telados, artefatos minerais, além de outros tipos de revestimento de paredes. Outro viés do trabalho foi o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento do quartzito de Várzea do Seridó, na fabricação de argamassa. O trabalho foi realizado por meio de ensaios exploratórios em laboratório, envolvendo diferentes operações unitárias, e estudos em usina piloto, os quais foram desenvolvidos a partir das condições e resultados desses ensaios em laboratório. Deve-se ressaltar que, além da argamassa produzida na usina piloto, outros subprodutos são obtidos, a partir da mistura de materiais que seriam rejeitados na mesma, como os resíduos grossos das peneiras, *underflow* do ciclone e o pó coletado nos filtros de manga. Dentre esses subprodutos, podem ser destacados: ladrilhos, blocos estruturais e lajotas. Com os mesmos materiais citados, planejam-se as fabricações de massa corrida e tinta lavável. A realização deste trabalho teve como bons resultados, agregação de valor aos resíduos, mitigação do impacto ambiental na região, a geração de emprego e renda e diminuição de conflito com a comunidade.

Palavras-chave: Resíduos de rochas; quartzitos; artefatos minerais; argamassa.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho de aproveitamento dos resíduos do beneficiamento do quartzito foi realizado no âmbito do Projeto “Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito”, objeto de convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, tendo como órgão executor principal o CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Dentre os estudos executados no presente trabalho, destaca-se o apoio à instalação da usina piloto, localizada no Distrito Industrial do Município de Várzea, nos estado da Paraíba.

O município de Várzea está situado na região do Polígono das Secas, no estado da Paraíba, a 320 km de João Pessoa, e a 150 km de Campina Grande. Limita-se ao norte com os municípios de Ouro Branco (RN)

e São José do Sabugi (RN), leste com Ouro Branco (RN) e Santa Luzia, sul com Santa Luzia e São Mamede e, oeste, com São Mamede e São João do Sabugi (RN).

Em relação às quantidades e qualidades dos produtos industriais que poderiam ser obtidos a partir do aproveitamento dos resíduos do beneficiamento do quartzito, foram realizados estudos de caracterização e ensaios tecnológicos com esses resíduos e implantada uma usina-piloto de argamassa, embora outras aplicações e novos produtos tenham sido estudados (vidro, cerâmica, tintas e massa corrida).

Os resíduos gerados no beneficiamento da rocha quartzito são resultados do aparelhamento de placas de quartzitos laminados (corte da rocha em dimensões pré-estabelecidas) extraídos das pedreiras, em serras de disco diamantado, nas serrarias da região.

Os resíduos são gerados na forma de aparas (resíduo grosso que sobra do esquadrejamento dos ladrilhos) e na forma de pó (resíduo fino) resultante do corte da rocha nas serras de disco diamantado. Esses resíduos são produzidos em grande quantidade e são estocados em grandes pilhas, à medida que são produzidos. Essas pilhas de resíduos são localizadas próximas às serrarias, causando impacto ambiental e danos à saúde dos trabalhadores da região, pelo pó emanado das mesmas pela ação dos ventos, podendo causar problemas respiratórios na comunidade próxima às serrarias, bem como o assoreamento da rede hídrica e entupimento de tubulações da região, pela ação das chuvas transportando os finos.

Além dos problemas ambientais e de saúde mencionados, existem, ainda, os problemas referentes às áreas de estocagem, pois os volumes de resíduos produzidos vão demandando cada vez mais áreas para as suas estocagens.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o aproveitamento de resíduos oriundos da lavra e do beneficiamento dos quartzitos, cujos beneficiários são os pequenos produtores integrantes da Cooperativa de Mineradores de Várzea – COOPVARZEA. O aproveitamento para a fabricação de mosaicos, listelos, etc. se deu a partir das sobras de ladrilhos. Assim como o desenvolvimento de uma usina piloto para produção de argamassas, a partir dos resíduos grossos e finos, gerados no beneficiamento do quartzito da região de Várzea do Seridó – PB.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Aproveitamento dos grossos da lavra e do beneficiamento

O material grosso oriundo da lavra e do beneficiamento foi utilizado para confecção de pequenos bloquetes (Figura 1), para posterior aproveitamento na confecção de mosaicos e listelos com isso as empresas envolvidas poderão ter um produto de maior valor agregado, assim como contribuirá com isso para o aumento da demanda de funcionários.



Figura 1 – Pequenos blocos de quartzito para produção de mosaicos.

A utilização desses bloquetes, já confeccionados em forma de mosaicos pode ser visto na Figura 2, abaixo.



Figura 2 – (a) Mosaico de peças quadradas; (b) Mosaico de pedras retangulares.

A confecção de novos produtos agregadores de valor, agora com mais qualidade de padronização, foi devido aos novos equipamentos, cedidos pelo projeto as empresas cooperativadas, para o beneficiamento. Esses equipamentos, que foram desenvolvidos e fabricados, constavam de prensa, refilatriz e máquina de corte, dentre outros. Tais equipamentos aperfeiçoaram o processo, permitindo o aproveitamento dos resíduos e a transformação destes novos produtos, além de aumentar a qualidade e padronização de produção de ladrilhos, mosaicos e listelos.

3.2. Ensaios de caracterização dos produtos da moagem do resíduo de quartzito e do efluente (pó de rocha + água).

Os ensaios constaram de determinações de distribuição de tamanho de partículas e curvas granulométricas do produto final (comercial), já com os aditivos; material coletado no misturador, sem os aditivos; e efluente coletado no tanque decantador da Serraria Itacolomy.

Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Campina Grande, e visavam avaliar a distribuição de tamanho de partículas e traçar as respectivas curvas granulométricas dos materiais acima mencionados. O equipamento utilizado nessas determinações granulométricas foi um granulômetro marca CILAS, modelo 1064.

Os ensaios foram efetuados em três (03) amostras, as quais foram nomeadas e coletadas segundo a seguinte denominação:

Amostra I – Produto final (produto comercial com adição de aditivos).

Amostra II – material do misturador (sem aditivos)

Amostra III – material tanque decantador de efluentes da Serraria Itacolomy.

A Tabela I apresenta distribuição porcentual (acumulativo) em função do diâmetro da partícula, para as três amostras. As amostras foram quarteadas e homogeneizadas, e uma alíquota de aproximadamente 200 g de cada uma das amostras foi enviada para os ensaios de micro-análise granulométrica. A amostra III foi enviada na forma de polpa, que foi o material coletado no tanque de efluentes da Serraria Itacolomy. Antes dos ensaios, o material foi submetido a dispersão em banho de ultra-som por 60 s, e a taxa de diluição foi semelhante para as três amostras, obedecendo critérios recomendados para esses ensaios.

Tabela I – Distribuição porcentual (acumulativo) em função do diâmetro da partícula.

Amostra	Diâmetro (μm)		
	10%	50%	90%
I	1,6	13,2	51,0
II	1,6	12,0	48,3
III	2,5	27,8	87,1

Em termos de distribuição granulométrica e de tamanho de partícula, as amostras correspondentes ao produto final (Amostra I) (Figura 3) e do tanque misturador (Amostra II) são muito semelhantes. Ressalvando-se que no produto final, 50% de todo o material encontra-se em uma granulometria inferior a 13,2 micrômetros. É importante frisar que o $d_{90} = 51$ micrômetros no produto final. Isso quer dizer que o 90% de todo o material encontra-se numa granulometria inferior a 51 micrômetros (~270 malhas).

O material sólido proveniente do efluente da serraria apresenta granulometria mais grossa, em relação às do produto final. Nesse material (Amostra III) (Figura 4), o 50% do total encontra-se em um tamanho menor que 27,8 micrômetros. Ressalta-se que o processo de peneiramento no *trommel* limita, significativamente, a presença de material de granulometria mais grossa que, certamente, iria para o misturador.

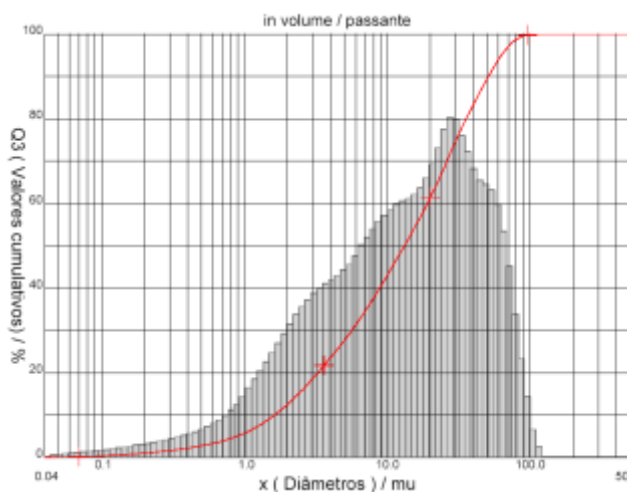


Figura 3 – Resultados da micro-análise granulométrica obtidos com a amostra I (Produto final com adição de aditivos).

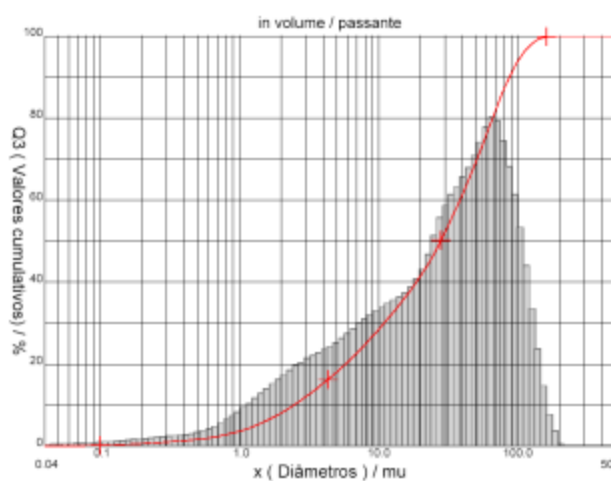


Figura 4 – Resultados da micro-análise granulométrica obtidos com a amostra III (Efluente da Serraria Itacolomy).

3.3. Ensaios tecnológicos

Antes das atividades de instalação da usina piloto de argamassa, vários ensaios tecnológicos foram realizados com os resíduos de quartzito, em forma de bateladas, em equipamentos instalados isoladamente, tais como: britador de mandíbula, moinho de martelo, *trommel* (peneira cilíndrica), misturador e outros.

Assim, foram realizados vários ensaios de britagem em britadores de mandíbula e moinho de martelos, visando alcançar a distribuição granulométrica adequada para fabricação de argamassa; ensaios de peneiramento para preparar os finos para a argamassa; ensaios de formulação dos constituintes da

argamassa (finos de rocha, aditivos e outros); homogeneização dos constituintes da argamassa em misturadores improvisados; e qualificação do produto final (argamassa).

Os ensaios de moagem eram muito importantes, e foram realizados em moinho de martelo de tamanho menor, com posterior análise do produto em termos de distribuição granulométrica e grau de finura, por meio de análises granulométricas, que possibilitaram a escolha das melhores condições de moagem, para a obtenção do produto de moagem mais adequado para fabricação das argamassas. Assim, foram eleitas as malhas de processo 10 e 35 malhas (1,651 e 0,417 mm, respectivamente) para a classificação dos produtos da moagem, visando a separação do material fino para a fabricação das argamassas. O produto (quartzito moído) abaixo de 35 malhas é o que se destinava a fabricação da argamassa. Os outros resíduos das peneiras (+ 10 e +35 malhas) também foram aproveitados, gerando outros produtos. A usina piloto foi planejada e desenvolvida com base nos resultados desses ensaios tecnológicos realizados em escala de bancada.

3.4. Instalação da usina piloto para fabricação de argamassa.

A instalação dessa usina piloto de argamassa teve como principal objetivo, o aproveitamento industrial de rejeitos de quartzito gerados nas serrarias de quartzito da região de Várzea do Seridó- PB, principalmente aquelas mais próximas da usina piloto, transformando-os em argamassas para a construção civil. As serrarias principais e mais próximas da usina piloto são a Itacolomy e a Revestir, embora todo o trabalho de laboratório tenha sido desenvolvido com material obtido na primeira empresa.

A instalação da usina piloto de aproveitamento dos resíduos do beneficiamento do quartzito de Várzea do Seridó foi feita paulatinamente, e em concomitantemente com o desenvolvimento e fabricação dos equipamentos da usina piloto, ensaios de caracterização e ensaios tecnológicos. Para o desenvolvimento e fabricação das máquinas e equipamentos, deve ser destacado que a grande maioria dos mesmos, que fazem parte do circuito da usina piloto, foi obtida em parceria com a empresa TECQUÍMICA, onde foram fabricados britadores, misturadores, entre outros, e implantada a usina-piloto de argamassa, embora outras aplicações e novos produtos foram estudados (vidro, cerâmica, tintas e massa corrida). Isto contribuiu para uma grande redução de custos na montagem da usina piloto e, conseqüentemente no projeto.

Os ensaios tecnológicos, na usina piloto, com os resíduos, foram realizados e controlados, por etapas, à medida que os equipamentos iam sendo desenvolvidos e instalados na usina. Os resíduos de quartzito para a realização dos ensaios tecnológicos, na usina piloto foram coletados nas Serrarias Itacolomy e Revestir.

A Figura 5, a seguir, mostra o fluxograma da instalação da usina piloto, montada em Várzea do Seridó - PB, para o aproveitamento dos rejeitos (resíduos), na fabricação de argamassas, dos tipos AC1, AC2 e AC3, e outros subprodutos.

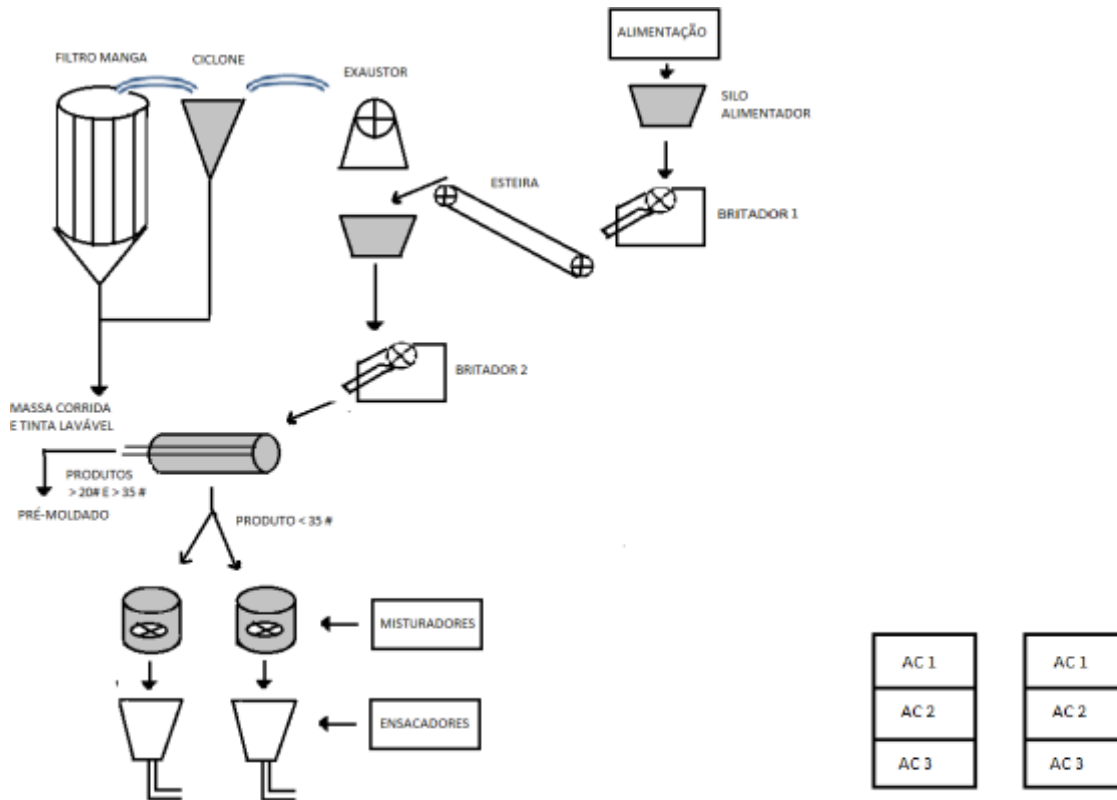


Figura 5 - Fluxograma da usina piloto de argamassa, instalada em Várzea do Seridó-PB para fabricação das argamassas AC1, AC2 e AC3.

Como pode ser visto no fluxograma da Figura 5, a usina piloto consta das seguintes etapas de processo: cominuição em dois estágios (britagem em britador de martelos); moagem (moinho de martelos); classificação granulométrica em peneiras cilíndricas (trommel de dois decks); 2 (dois) misturadores; sistemas de ensacamento do produto que sai do misturador (argamassas); e sistema de coleta de pó.

Na etapa de cominuição (britagem e moagem) os rejeitos (resíduos) das serrarias são reduzidos a um tamanho em torno de 10 malhas (1,65 mm). Em seguida, este material é peneirado, a seco, em um trommel de dois decks (10 e 35 malhas). O material abaixo de 35 malhas (0,417 mm) alimenta, por meio de transportador de roscas, a dois misturadores. Nestes misturadores, são adicionados, aos fins de resíduos de quartzito, dosagens pré-estabelecidas de cimento e aditivos que, devidamente misturados e homogeneizados, formam as argamassas (AC1, AC2 e AC3). Estas argamassas são descarregadas dos misturadores e ensacadas em sacos de 15 kg para o mercado consumidor.

Como o processo é a seco, para evitar a emissão de poeiras oriundas principalmente na etapa de cominuição (principalmente moagem) e peneiramento do material, completa esse circuito, um sistema de coleta de pó, constituído de exaustor, ciclone classificador e filtros de manga.

Com os resíduos (+ 10 malhas e + 35 malhas) gerados no peneiramento da descarga do moinho de martelos, é possível fabricar pré-moldados; e com os resíduos coletados no sistema de despoejamento (“underflow” do ciclone + o pó retido nos filtros de manga), podem-se conseguir subprodutos, tais como: massa corrida e tinta lavável. As figuras 6 e 7, a seguir, mostram vistas parciais da usina piloto de argamassa, nas fases de instalação dos equipamentos.



Figura 6 - Mostra o moinho de martelos (à direita e acima), peneira cilíndrica ("trommel") enclausurada, e transportador de rosca, alimentando os misturadores, à esquerda (tom amarelo).



Figura 7 -Mostra, à direita e acima, moinho de martelos, peneiramento no trommel enclausurado, transportador de rosca e um dos misturadores (tom amarelo); à esquerda o início da instalação dos filtros de manga

4. RESULTADOS

Com o objetivo de levantar dados técnicos de processos, de mercados e qualidade de produtos para esses mercados, foram também realizadas visitas técnicas a usinas de moagem de quartzito e fábricas de argamassa, no Estado do Rio de Janeiro. A Figura 8 apresenta a entrada da Usina Piloto de argamassa.



Figura 8 - Placa do Parque Industrial, Usina Piloto de Argamassa Equipamentos da Usina.

5. CONCLUSÕES

A Usina Piloto Protótipo de Argamassa, montada no parque industrial, na área das empresas de beneficiamento, com o objetivo de aproveitar os rejeitos finos gerados pelas serrarias da região, tem 6 empregados e está produzindo cerca de 4 toneladas/ dia de argamassa, 300 tijolos/ dia e 20 m³ de brita fina. Em relação a abrangência do trabalho, ela trabalha com resíduos provenientes de 10 serrarias da região, onde trabalham 400 pessoas. As empresas que realizam o beneficiamento da rocha quartzito só conseguiram obter a licença ambiental porque a usina piloto desenvolvida absorve os resíduos produzidos pelas mesmas. A Usina também está preparada para aproveitar os rejeitos grossos da lavra e do beneficiamento.

REFERÊNCIAS

Campos, A. R. "Relatório de Atividades de Bolsa CNPq". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB. 2012.

Vidal, F. W. H.; Correia, J. C. G. "Relatório Técnico de Beneficiamento". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0007-00-12, CETEM/MCTI, 2012.

Vidal, F. W. H.; Correia, J. C. G. ; Castro, N. F. "Relatório Técnico de Atividades Realizadas no Período de Junho de 2009 a Março de 2012". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0009-00-12, CETEM/MCTI, 2012.

APROVEITAMENTO DE SOBRAS DE CORTE DE CHAPAS DE MÁRMORE E GRANITO EM MARMORARIAS

J. R. G. da Silva¹, J. C. Souza²

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - 50670-901- Recife

²Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - 50670-901- Recife

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade na indicação de metodologias disponíveis para o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados no momento de recorte de chapas de mármore e granito nas marmorarias. Os rejeitos via de regra são descartados em pátios de estocagem de sobras para depois serem enviados a aterros sem nenhum tipo de reaproveitamento dessas sobras. Normalmente as marmorarias produzem este tipo de rejeito no momento em que ocorre o recorte de chapas de mármore ou granito utilizando a água como fator de resfriamento dos discos de corte. Todo esse resíduo é descartado de forma incorreta visto que as sobras podem ser aproveitadas para confecção de diversos produtos. Outro fator que contribui para o aumento das perdas é o momento de recorte das chapas para a personalização das peças solicitada pelos clientes uma vez que as medidas e formatos são diferenciados de acordo com o ambiente planejado, resultando assim em baixo aproveitamento das chapas e consequente geração do resíduo sólido. Vários profissionais da área já apresentaram trabalhos voltados ao aproveitamento das chapas em seu recorte e dos resíduos proveniente da apara e da lama em tanques de decantação. O presente trabalho mostra algumas dessas possibilidades, que estão sendo analisadas para serem colocadas em prática na empresa Granrochas Ltda, localizada no Cabo de Santo Agostinho – PE.

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e industrialização das cidades modernas têm originado uma produção alarmante de resíduos, no qual para suprir as necessidades do mundo moderno, é necessário um aumento exponencial na produção que paulatinamente contribui para o aumento de resíduos, que a maioria das vezes ocorre de maneira ecologicamente incorreta.

Conforme a classificação do mercado, os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Porém, outras rochas estão presentes neste campo, como travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados, ardósias, etc. Esta maior importância dos mármore e principalmente dos granitos é decorrente do volume de sua grande quantidade extraída (57% granito e 18% mármore).

Hoje, sejam pela força da legislação ou mesmo por uma preocupação com os impactos que as indústrias e marmorarias geram ao meio ambiente, tanto empresa, empresários, quanto profissionais relacionados a pesquisas para proteção, buscam desenvolver metodologias e processos para a diminuição possível quanto ao resíduo, ou seja, causando menor dano ao meio ambiente.

As rochas ornamentais e de revestimentos, conhecidas como pedras naturais, rochas dimensionais e rochas lapídeas, do ponto de vista comercial, são basicamente classificadas em mármore e granitos. Estas duas categorias respondem por 90% da produção mundial. Os demais tipos são quartzitos, pedra sabão, ardósias, conglomerados e basaltos (PEITER *et al*, 2001).

Faltando ainda na legislação brasileira locais licenciados para a deposição destes resíduos, nem entidades credenciadas para recolher este tipo de material, transportar e valorizar leva as indústrias a fazerem a deposição dos resíduos de forma incorretamente sustentável, muita das vezes pagando empresas de recolhimento de entulhos para descarte em lugares que muita das vezes caem em situações de descumprimento da lei.

2. DESENVOLVIMENTO

As marmorarias produzem enormes quantidades de resíduos em forma de lama ou por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito. Estas peças podem ser tanto personalizadas, como pias, balcões e etc., como também padronizadas, como placas, peitoris, revestimentos e entre outros.

A lama de marmoraria esta ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte de chapas. Aparenta sem toxicidade, constituídos principalmente pó de pedra e água, são denominados de subprodutos pela futura reutilização.

De acordo com Gobbo (2004, p.129), esta lama é produzida em 2% do total de volume processado, em uma visualização rápida parece pouco, porém pensando em uma escala de produção mensal, bem como de várias empresas, é possível justificar uma viabilidade de estudo. Esta lama residual é um rejeito que se tornou problema ambiental pela quantidade produzida.

2.1 Mosaicos

Entende-se que mosaico é uma composição decorativa, em duas ou mais cores, formada por peças quadradas ou mesmo de forma irregular, com variações em suas dimensões e que podem ser tanto de granito ou mármore, fixando sobre uma superfície estável, por meio de cimento, argamassa, estuques ou de outras composições colantes.

A origem da palavra vem do grego que proveniente de *MOSAICON*, significando obra paciente digna das musas. Despertando um fascínio pela sua beleza na arte de inovar, renovar e revestir o ambiente.



Figura 01 - Modelos de Mosaicos

2.2 Listelo

O listelo sendo uma faixa padronizada com função decorativa, utilizada na composição de faixas nas paredes e até pisos dá uma notação de maior versatilidade ao ambiente uma vez que atribuem valores estéticos e arquitetônicos.

Pode-se notar que além do descarte prematuro deste material, outro fator de grande problema gerado para os marmorista é o espaço útil ocupado pelos resíduos dentro das marmorarias, visto que em algumas possuem espaços para estocagem.



Figura 02 - Retraço de Granito sendo descartado inadequadamente

Ainda em ato de observação nota-se que no momento de produção há geração de resíduos não uniformes, sendo as peças com cantos arredondados com desenhos curvos e que estes são geradores de um maior volume de resíduo.

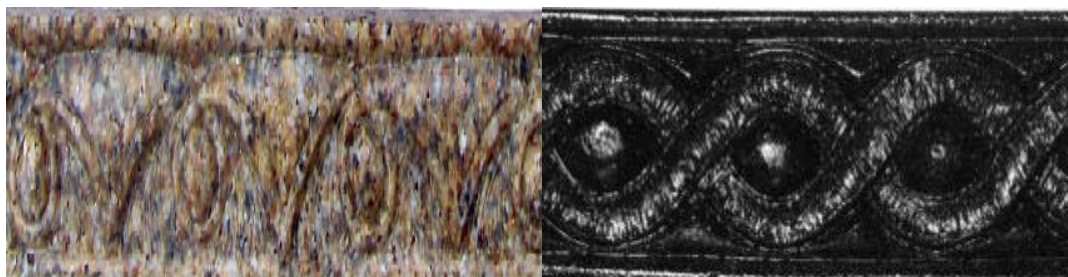


Figura 03 - Modelos de Listelo em granitos

2.3 Artesanato

O artesanato é uma expressão cultural de uma região ou comunidade, alinhada por seus traços e que influenciam por determinadas regiões do Brasil.

Encontra-se no meio ambiente, minerais com cores e brilhos diferentes, por ter uma variedade no Brasil, os artesanatos obtidos em minerais e rochas são destinados para vários fins como adornos pessoais, decoração de ambientes e utilização cotidiana.



Figura 04 - Peças personalizadas a partir das sobras de materiais

Muitos objetos são encontrados normalmente no mercado utilizando materiais de “pedras” para decoração como: animais em pedra, gravuras com aplicabilidade de técnicas bem selecionadas, árvores e objetos em pedaços de tamanhos pequenos

2.4 Fulget

O fulget, também denominado de granito lavado, é um material composto de cimento, aditivos e granulados de pedras como mármore, granitos naturais, calcários, arenitos, quartzos entre outros. No processo de fabricação, essas pedras são moídas em tamanhos uniformes – classificados em granulometrias 0 (espessura de 08 a 10 mm), 1 (espessura de 10 a 12 mm), e 2 (espessura de 12 a 15 mm), - com cimento e ligante pré misturado na fábrica, garantindo a qualidade do produto tanto em aderência à superfície a ser aplicada, como na tonalidade a ser desejada.

As características estéticas que diferencia do granilite ao fulget é o seu toque áspero, incorporado um excelente material para pisos de áreas externas. No entanto o fulget não se limita somente a esse procedimento, podendo ser inserido em pisos e fachadas internas.



Figura 05 - Revestimentos com Fulget

Além da granulometria que define o aspecto do produto, existem dois tipos de fulget comercialmente: o tradicional, que leva apenas ligantes (cimento, cal) e granulados; e o fulget natural, que além da massa tradicional, recebe resinas acrílicas capazes de aderir o material a qualquer superfície vertical.

Com relação as cores, além das tonalidades das pedras naturais, as empresas lançam mão, também, de corantes artificiais a fim de aumentar a variedade de cores oferecidas para os clientes.

3. CONCLUSÃO

Diante da importância da implantação do SGA (Sistema de Gestão Ambiental), nas marmorarias é possível concluir:

- Controle e diminuição do consumo de água;
- Menores custos na produção;
- Reutilização da água em outros processos.

Entendendo-se que a produção de artesanatos nas marmorarias com base nessas matérias primas ainda é muito mínima, todavia algumas ações para esse desenvolvimento do artesanato podem ser colocadas em prática se houvesse um maior incentivo. Esses produtos poderiam ser expostos em grandes feiras e encontros do artesanato como por exemplo a que acontece em Pernambuco todos os anos: FENEARTE (Feira Nacional de Negócios do Artesanato).

Outro ponto de vista importante é o reaproveitamento dos resíduos sólidos no momento da aparta de recorte de chapas o qual é descartado de forma incorreta, deixando de ser aproveitado como matéria-prima para obtenção de outros produtos, tais como artesanato, listelos, roda-teto, etc.

É necessário que se façam investimentos na compra de equipamentos para o aproveitamento desses materiais, que podem resultar em geração de empregos nas marmorarias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NAVARRO, R. F. (2002). "Materiais e Ambiente". Editora Universitária/UFPB, João Pessoa.

CETEMAG (Centro Tecnológico do Mármore e Granito) (2002). O Setor de Rochas Ornamentais. Cachoeiro de Itapemirim-ES. 17 p.

PEITER, C.C *et al.* (2001). Rochas Ornamentais no Século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/Abirochas. 150p,

FREIRE, A. S., MOTTA, J. F. (1995). "Potencialidades para o aproveitamento Econômico do Rejeito da Serragem do granito", Rochas de Qualidade, nº 123, p 98 – 106.

GOBBO, L A; MELLO, I.S.C; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.H.B.O. (2004). "Aproveitamento de Resíduos Industriais", In: MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas Ornamentais e Revestimentos no estado de São Paulo. São Paulo: IPT. p. 129-152

CONCENTRAÇÃO DE FELDSPATOS ORIUNDOS DE RESÍDUOS DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS E SUA APLICAÇÃO EM CERÂMICOS

R. C. C. Ribeiro¹ e R. C. C. Carrisso¹

¹CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária. Rio de Janeiro/RJ. CEP 21941-908.

E-mail: rcarlos@cetem.gov.br; rcarrisso@cetem.gov.br

RESUMO

O corte de blocos de rochas ornamentais gera um resíduo fino, na forma de polpa que ocasiona problemas ambientais, assoreamento e contaminação de rios, em função do seu descarte. Porém é rico em minerais como o quartzo, o feldspato e a mica, que podem ser utilizados em diferentes setores da indústria, como, por exemplo, a de vidros e cerâmicas. Baseado nisso, o objetivo deste trabalho foi a concentração do feldspato presente no resíduo pelo processo de flotação, visando a obtenção de um produto com características para atender a indústria cerâmica. Para este estudo, foram recolhidos resíduos oriundos do corte de blocos de mármore e granitos de serrarias do município de Cachoeiro de Itapemirim. Nos ensaios de caracterização, observou-se que cerca de 50% do ferro (Fe_2O_3) presente na amostra ficou retido na peneira de 0,053 mm. Os resultados indicaram a possibilidade de retirada do ferro, oriundo da granalha, insumo utilizado no corte dos blocos, somente por meio de peneiramento, com retenção de mais de 50% do Fe_2O_3 presente nas peneiras com granulometria superior a 0,053 mm. Conclui-se que o produto obtido no processo de concentração apresentou potencialidade de utilização em compostos cerâmicos. O feldspato concentrado deve ser agregado a uma argila, produzindo corpos de prova cerâmicos posteriormente submetidos a ensaios de resistência mecânica, retração linear, resistência ao intemperismo e a absorção de água, cujos resultados indicarão a proporção ideal da areia feldspática que atendam as normas estabelecidas pela ABNT, as especificações do setor cerâmico.

Palavras-chave: resíduos de rochas ornamentais; feldspatos; flotação; cerâmica.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Vidal (2003), o Brasil possui grande diversidade de solos e formações geológicas distribuídas em seus mais de 8,5 milhões de km^2 , o que torna o país possuidor de um dos maiores potenciais minerais do mundo.

De acordo com o mesmo trabalho, o setor mineral brasileiro constitui-se sob uma visão estratégica de desenvolvimento nacional. As preocupações com a preservação do meio-ambiente somente apareceram nos anos 80, embora algumas empresas. Pode-se identificar no setor de mineração brasileiro três grandes fases: a primeira fase, até os anos 60, caracterizada por uma visão fragmentada, quando a proteção ambiental incidia apenas em alguns recursos, particularmente naqueles mais estritamente relacionados à saúde humana, como o controle de águas e as condições no ambiente de trabalho; a segunda, dos anos 70 a 80, iniciada com a ocorrência e discussão de questões mais amplas, como a poluição ambiental e o crescimento das cidades, culminando com a visão de futuro relativo ao meio ambiente como um ecossistema global; e a terceira, a partir dos anos 90, que posicionou o paradigma do desenvolvimento sustentável como o grande desafio, ou seja, como equacionar o desenvolvimento econômico e social com a preservação do ecossistema planetário.

1.1 Resíduos de Rochas Ornamentais

Na indústria mineral é gerado um grande volume de rejeito com diferentes granulometrias, com amplas possibilidades de serem aproveitados em diferentes setores da indústria, dentre elas a de construção civil, como citado na literatura (Rolim Filho *et al.*, 2001).

Segundo os trabalhos de Pontes e Stellin Jr. (2005) e Fallenberg (1980), os resíduos industriais gerados no corte de blocos serrarias com teares de lâminas, ou diamantados são, geralmente, depositados em bacias de resíduo improvisadas, ou vão se acumulando ao redor dessas serrarias. Em seguida, os resíduos são costumeiramente lançados ao meio ambiente, em locais inadequados, principalmente em áreas próximas às serrarias e, em alguns casos, diretamente no rio Itapemirim, causando assoreamento do mesmo, poluindo sua água, gerando assim grande impacto ambiental, acarretando conflitos com regiões vizinhas. Os órgãos de fiscalização vêm atuando cada vez, aplicando multas e restringindo ou paralisando as atividades das serrarias. Essas ações fizeram com que os empresários se mobilizassem para encontrar alternativas para a utilização desses resíduos.

O CETEM vem desde 1996, em parceria com outras instituições, tais como, SEBRAE, FIRJAN, SENAI, INT, entre outras, realizando programas de apoio à micro e pequena empresas, visando encontrar alternativas de utilização desses resíduos, introduzindo novos equipamentos/tecnologias e alternativas de aproveitamento dos resíduos. Houve assim, uma melhoria real nas operações de lavra e beneficiamento, e, sobretudo uma conscientização maior sobre a necessidade do cumprimento de normas de segurança e ambientais. Para fomentar a utilização de resíduos seria necessário buscar incentivo do poder público, para sua utilização em obras civis municipais, estaduais e federais, tais como casas populares, calçamento de ruas e avenidas, pisos diversos, além de obras de saneamento que utilizem tijolos e manilhas feitos com resíduos de pedreiras e serrarias locais.

1.2 Composição dos Resíduos

O resíduo gerado no processo de corte e beneficiamento das rochas ornamentais é composto essencialmente por água, gralha e pó de rocha. Este último é constituído pelos minerais que compõem os granitos e os mármore, destacando-se quartzo, feldspato e mica, oriundos do corte de granitos, e a calcita e a dolomita, oriundas do corte de mármore, conforme o trabalho de Carrisso *et al.* (2005).

1.3 Feldspato

Conforme descrito por Ramos (2001), o nome *feldspato* tem origem no alemão *feld* (campo) e *spath* (pedra) e constitui uma importante família de minerais do grupo dos tectossilicatos ou silicatos de armação, que apresentam uma armação tridimensional de tetraedros de silicato com SiO_2 , possuindo características como cor branco róseo, translucidez, dureza e composição química $(\text{Na}, \text{K}) \text{Al Si}_2 \text{O}_3$, $\text{Ca Al}_2 \text{SiO}_3$, $\text{Ba AlSi}_2 \text{O}_3$.

O feldspato é a principal matéria-prima das cerâmicas, atuando como fundente, pois seu ponto de fusão é menor do que a maioria dos outros componentes, servindo de cimento para as partículas das várias substâncias cristalinas, além de outros aspectos, e como descreveu Jesus (2001), auxiliando a formação da parte vítrea dos corpos, e no fornecimento de sílica (SiO_2). Na indústria de vidro, é utilizado como fonte de Al_2O_3 e álcalis (Na_2O e K_2O), os quais têm, respectivamente, as funções de aumentar a dureza e a resistência química do material e atuar como fundente.

1.4 O Setor Cerâmico

Segundo Jesus (2001), as indústrias de cerâmica e vidro consomem cerca de 95% do feldspato comercializado no Brasil. A produção nacional de feldspato beneficiado é da ordem de 61.000 t/ano, em sua maioria proveniente de lavras rudimentares, havendo, por isso, a necessidade de importação desse insumo.

Os trabalhos de Almada e Vlecek (2000) e França e Sampaio (2002) demonstram que as exigências da indústria cerâmica são bastante diversificadas, uma vez que dependem do tipo de material a ser

produzido. Se a alvura não for importante, como ocorre nos casos em que o corpo receberá pigmentação colorida, o teor de ferro tolerável, expresso em Fe_2O_3 , é de 2 a 3 %. Caso contrário, a exemplo das louças brancas, esse teor deve ser de no máximo 0,1%. Quanto a granulometria, de um modo geral, o feldspato destinado à indústria cerâmica deve apresentar granulometria menor que 0,074 μm , pois seu poder fundente é inversamente proporcional à sua granulometria.

Para França e Sampaio (2002), os minerais de ferro, óxidos ou sulfetos, quando presentes na amostra em altos teores, são causadores de imperfeições no produto cerâmico, uma vez que promovem a coloração escura no material pela presença dos óxidos (Fe_2O_3) e a formação de bolhas e outras irregularidades na superfície do corpo cerâmico, devido à formação de gases de sulfetos, SO_2 , provenientes de reações com a pirita (FeS_2), durante os processos de cozimento da massa cerâmica. Daí a importância da sua purificação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é concentrar o feldspato contido nos resíduos do corte e beneficiamento de rochas ornamentais gerados nas serrarias de Cachoeiro do Itapemirim – ES, pelo processo de flotação, e estudar sua possível aplicação na fabricação de materiais cerâmicos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Origem dos Materiais

O resíduo utilizado neste trabalho é oriundo do tanque de coleta do efluente gerado no processo de corte de blocos de rochas ornamentais do município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

3.2. Caracterização do Resíduo

3.2.1 Análise Granulométrica

O resíduo foi submetido a peneiramento a úmido. O material retido em cada peneira e o passante na última peneira foi secado e em seguida pesado, quarteado e preparados para análises químicas e mineralógicas.

3.2.2 Análises Química e Mineralógica

Cada fração do material foi caracterizada química e mineralogicamente por meio de difração e fluorescência de raios X (DRX e FRX) pela COAM (Coordenação de Análises Mineraias) do CETEM.

3.3. Ensaios de Flotação

Os ensaios de flotação foram realizados em duas etapas: a primeira com objetivo de separar a calcita e a dolomita do quartzo e do feldspato e a segunda com o objetivo de separar o quartzo do feldspato, conforme demonstra o esquema da Figura 1.

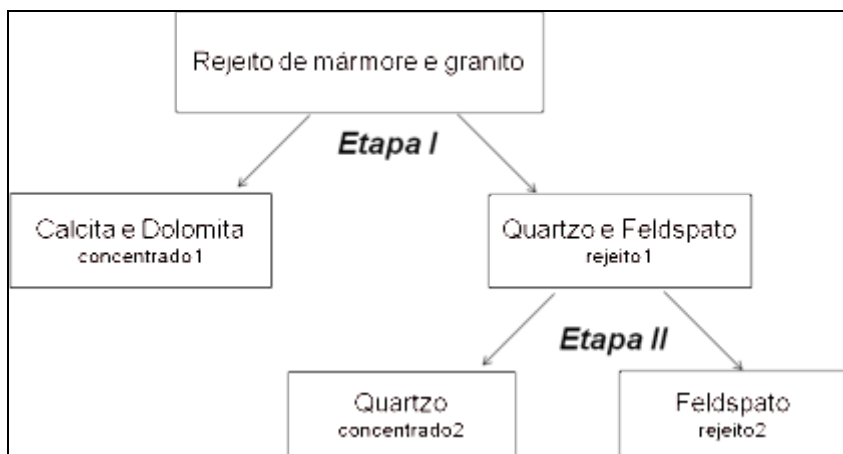


Figura 1 - Esquema dos ensaios de flotação.

Na etapa 1, utilizou-se ácido oléico como coletor e ROHMIN HFS 4268 como depressor, em diferentes concentrações. Já na etapa 2, a amina Flotigan FDA foi utilizada como coletor, também variando as concentrações. As condições dos ensaios realizados são demonstradas na tabela 1.

Todos os ensaios foram realizados em célula DENVER, sub-aerada, modelo D-14, em cubas de 1 L com 50% de sólido na polpa inicial e rotações entre 1200 e 1500 r.p.m.

Tabela 1 - Parâmetros dos ensaios de flotação realizados.

Ensaio	ETAPA 1				Ensaio	ETAPA 2			
	Concentração		Rotação na flotação (r.p.m.)	pH		Concentração Coletor (g/t)	Rotação na flotação (r.p.m.)	pH	
	Depressor (g/t)	Coletor (g/t)							
1	10	500	1500	8,5	1	100	1200	5,4	
2	100	500	1200	8,7	2	500	1200	5,2	
3	100	500	1400	8,9	3	1000	1200	5,1	
4	100	500	1400	8,6	-	-	-	-	
5	10	1000	1200	8,4	-	-	-	-	
6	100	1000	1200	8,5	-	-	-	-	
7	100	800	1200	8,3	-	-	-	-	

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise Granulométrica e Caracterização das Frações

A Tabela 2 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo, onde se pode verificar uma composição ultrafina do material, uma vez que a maior proporção do resíduo, cerca de 74%, encontra-se com tamanho de partícula inferior a 0,037 mm.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica do resíduo.

Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Retenção (%)
0,210	13,23	1,29
0,177	5,66	0,55
0,149	7,33	0,71
0,105	33,90	3,31
0,075	37,26	3,63

0,053	52,61	5,13
0,044	67,54	6,59
0,037	53,15	5,18
-0,037	754,56	73,60
Massa final	1025,24	100,00
Perda	9,49	0,83

Na Tabela 3, verifica-se a variação da composição química da amostra retida em cada peneira. Observou-se que o ferro, em sua maioria oriundo da granalha, pôde ser removido nas peneiras com dimensões superiores a 0,053 mm. Sendo assim, os ensaios de flotação foram realizados utilizando-se a fração passante em 0,053 mm.

Tabela 3 - Análise química por FRX das frações granulométricas do resíduo.

Abertura (mm)	Teor (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	SiO ₂	SO ₂	TiO ₂	Na ₂ O
0,21	6,99	22,05	24,33	2,10	5,58	0,17	20,90	0,25	0,48	-
0,177	7,78	26,90	14,74	2,87	7,22	0,11	21,30	0,11	0,70	-
0,149	8,43	26,10	12,92	3,22	7,48	0,10	23,10	-	0,78	-
0,105	6,93	29,06	8,13	2,43	8,44	0,07	23,40	-	0,60	-
0,075	5,54	31,87	4,66	1,60	9,92	0,04	22,00	-	0,38	-
0,053	4,18	34,54	2,84	1,03	10,50	-	20,30	-	0,25	0,47
0,044	3,47	34,94	1,80	0,73	10,20	-	17,40	-	0,14	-
0,037	3,17	37,60	1,56	0,69	10,80	-	15,80	-	0,13	-
-0,037	1,89	42,88	0,83	0,44	13,30	-	8,84	-	-	-

4.2 Ensaios de Flotação

Etapa 1: A Tabela 4 apresenta as composições mineralógicas do material concentrado e do rejeito nos 7 diferentes ensaios. Pode-se observar que o ensaio 6 apresentou as melhores condições para a separação da calcita e dolomita do quartzo e feldspato, uma vez que se pode verificar um teor de feldspatos em torno de 74% no material rejeitado e um alto teor de calcita e dolomita, em torno de 97% no material concentrado.

Tabela 4 - Composições mineralógicas nos diferentes ensaios da etapa I.

Ensaio	Concentrado (%)				Rejeito (%)			
	Feldspato	Quartzo	Calcita	Dolomita	Feldspato	Quartzo	Calcita	Dolomita
1	26,98	22,09	22,50	28,36	23,47	20,11	26,02	30,08
2	23,60	19,00	26,12	31,26	27,49	24,21	21,01	26,54
3	25,46	20,33	25,61	28,13	27,01	24,26	22,59	25,91
4	25,31	20,54	25,78	27,97	26,93	24,34	22,81	25,60
5	22,16	18,09	28,36	31,20	33,21	28,09	14,65	23,88
6	1,19	0,81	31,83	66,06	76,42	19,58	0,80	3,01
7	3,81	2,54	29,28	64,19	74,12	17,51	2,45	5,52

Etapa 2: O material considerado rejeito (não flotado) do ensaio 6 da etapa I foi utilizado para o processo de flotação ácida devido ao maior teor de feldspatos. A Tabela 5 indica os teores de feldspato e quartzo obtidos após o II processo de flotação. Observou-se a adequada separação entre quartzo e feldspato nos ensaios 1 e 2, chegando-se a valores em torno de 88% para o quartzo no material concentrado e 98% para o feldspato no material rejeitado. No entanto, as condições do ensaio 1, de menor concentração do coletor, indicam esse ensaio como o mais aconselhável para separação quartzo/feldspato.

Tabela 5 - Composições mineralógicas nos diferentes ensaios da etapa II.

Ensaio	Concentrado (%)		Rejeito (%)	
	Quartzo	Feldspato	Quartzo	Feldspato
1	88,61	11,19	2,16	98,07
2	87,36	12,13	2,54	97,50
3	2,70	97,10	Traços	Traços

5. CONCLUSÃO

É possível concluir que o resíduo utilizado no estudo possui grande potencial de aplicabilidade na fabricação de materiais cerâmicos e que tal reutilização desse resíduo permitirá às indústrias do setor de corte de blocos de rochas ornamentais um controle mais efetivo das deposições dos mesmos, além de gerar renda extra para as serrarias.

REFERÊNCIAS

- ALMADA, M.M. e VLECEK, T.F. Pilhas de homogeneização: Uma nova visão para feldspato cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 2000, pp. 31-34.
- ALMEIDA, S.L.M. e PONTES, I.F. Aproveitamento de Resíduos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras. CETEM, I SBRO / II SRON, Salvador, 2001.
- CARRISSO, R.C.C., CARVALHO, M.R.C. e VIDAL, F.W.A. Avaliação de Granitos Ornamentais do Sudeste Através de suas Características Tecnológicas. CETEM, V Simpósio de Rochas Ornamentais, Natal, 2005.
- FRANÇA, S.C.A. e SAMPAIO, J.A. Obtenção de Feldspato a partir de Finos de Pedreira de Nefelina Sienito e Utilização como Insumo para a Indústria Cerâmica. CETEM, XIX ENTMMME, Recife, 2002.
- JESUS, C.A.G. Feldspato, Sumário Mineral. DNPM, pgs. 61-62, 2001.
- PONTES, I.F. e STELLIN JR., A. Valorização de Resíduos de Serrarias de Mármore e Granito e sua Aplicação na Construção Civil. CETEM, USP, Vº Simpósio de Rochas Ornamentais, Natal, 2005.
- RAMOS, L.J. Feldspato – Balanço Mineral Brasileiro. DNPM, 2001.
- ROLIM FILHO, J.L., BARROS, M.L.S.C., SOUZA, J.C., FONSECA, A.I.C.F., CUNHA, K.C.B., SANTOS, A.C.S., SILVA, G.A. Aproveitamento de Resíduos de Indústria de Rocha Ornamental. DEMINAS/UFPE, III SRONE, Recife, 2002.
- VIDAL, F.W.H. Aproveitamento de Resíduos de Rochas Ornamentais e de Revestimentos. CETEM / ABIROCHAS, IV SRONE, Fortaleza, 2003.

DESEMPENHO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE SERRARIAS PARA A UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA OBTENÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA APLICAÇÕES EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

N. O. Santiago¹, D.F. Oliveira², A. A. Sousa³, C. Muniz¹, M. D. Sousa¹

¹Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba
Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, Campina Grande, PB, 58109- 753. e-mail:
nathy.sathiago@hotmail.com

²Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba
Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, , Campina Grande, PB , 58109- 753: djaneufcg@yahoo.com.br

³Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba
Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, CEP 58109- 753, Campina Grande/PB: aauepb@gmail.com

RESUMO

O aumento da industrialização e a civilização cada vez mais exigente pela busca sempre do melhor conceito em qualidade temo consequentemente uma maior geração de resíduos lançados no meio ambiente. Por essa alta demanda as grandes indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais e de mineração de caulim hoje enfrentando dificuldades no gerenciamento desses rejeitos, com isso as organizações ambientais têm tomado à frente neste problema aumentando a fiscalização e cobrando as empresas por iniciativas e investimentos em pesquisas no direcionamento para reciclagem dos resíduos. De acordo com as características desses produtos, na qual são objetos de estudo neste trabalho de pesquisa, possibilita à aplicação numa ampla área principalmente voltada para a engenharia, em seu vasto campo de atuação, oferece uma série de oportunidades para a redução dos impactos ambientais causados pelas atividades produtivas como o beneficiamento de rochas ornamentais e caulim. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais e de serrarias para a utilização como matéria-prima na obtenção de tijolos ecológicos para aplicações em edificações de interesse social. Serão confeccionados tijolos utilizando o traço 1:9 em proporção de cimento: solo, e utilizado os resíduos nas proporções de 10, 20 e 30 % de resíduo granítico variando com 30, 40 e 50% de resíduo caulínico moído para períodos de cura de 7 e 28 dias avaliando a atividade pozolânica por ensaios de resistência a compressão simples. Diminuindo assim o impacto ambiental que é caudado quando lançados ao ar livre prejudicando a vegetação, a vida animal presente no local, à estética e principalmente a saúde de moradores próximos dessa região. Direcionando a utilização desses rejeitos para fabricação de tijolos solo-cimento na construção de habitações.

Palavras Chaves: Resíduos sólidos; atividade pozolânica; tijolos solo-cimento.

1. INTRODUÇÃO

A preservação ambiental está em aceitação no mundo inteiro não só na teoria, mas também como na prática, o mercado de trabalho hoje necessita de novas e boas ideias principalmente voltadas ao meio ambiente, sendo assim o maior compromisso da sociedade. As atividades de mineração e processamento mineral já lucraram durante muitos anos extraindo matérias primas de lavouras modificando relevos e alterando a natureza dessas regiões.

A reciclagem de resíduos é umas das maneiras de se diversificar a oferta de matéria prima para se utilizar como materiais para construção civil viabilizando a redução de preço na qual pode ser um grande incentivo para a competitividade no comércio. Assim essa reciclagem de resíduos contribui para preservação ambiental e para o aperfeiçoamento de política social (JOHN, 2000).

Os resíduos de granito e caulim utilizam apenas de alguns ou mesmo nenhum processo de tratamento para se eliminar e até reduzir seus constituintes presentes. Tem-se considerado uma ótima alternativa a incorporação desses rejeitos na fabricação de tijolos ecológicos desolo-cimento pelo baixo custo e principalmente por evitar a degradação causada ao ambiente.

O objetivo deste trabalho de pesquisa está em avaliar o desempenho dos resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais e de serrarias para a utilização como matéria-prima na obtenção de tijolos ecológicos para aplicações em edificações de interesse social.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A abordagem ambiental mais recente, objetiva é exatamente o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte dos materiais, enfatizando que no século XXI o gerenciamento dos resíduos é uma das questões mais importantes tanto para a saúde pública como para o desenvolvimento industrial.

A disposição dos resíduos no beneficiamento de granito e na mineração do caulim nos municípios dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, atualmente tem um volume bastante significativo. A produção de tijolos recicláveis tem sido favorável nesse aspecto tendo em vista a escassez de recursos naturais. Minimizando os custos das habitações e solucionando parte dos problemas gerados pelo beneficiamento dessas rochas e mineração do caulim.

2.1 Rochas Ornamentais

Rocha ornamental é definido como sendo um material rochoso natural, submetido a diferentes graus de aperfeiçoamento (apicoado, frameado, polido e recortado) e utilizado para exercer uma função estética. São largamente utilizadas na construção civil em revestimentos internos e externos de paredes, pisos, soleiras, na fabricação de móveis, na arte funerária e em outras diversas aplicações (QUEIROZ et al/2008).

As rochas ornamentais podem ser classificadas de acordo com sua comercialização. Então as rochas podem ser ornamentais e semi-ornamentais divididas em mármore, granito, ardósia e em alguns lugares são citadas também o basalto (VARGAS et al).

O setor de rochas ornamentais vem crescendo a cada ano devido à quantidade de rochas que são exportadas. Em 2006 a produção brasileira de rochas ultrapassou 7,5 milhões de toneladas. Já em 2007 a produção chegou a 7,9 milhões, ou seja, um crescimento de 6% (ABIROCHAS, 2007).

A forma de armazenar e condicionar os resíduos industriais de significativo impacto ambiental na atividade pode ser apresentado na Figura 1 que detalha o armazenamento e descarte do resíduo de rochas ornamentais(lama abrasiva).



Figura 1 - Lama abrasiva desidratada armazenada num terreno monitorado pela indústria analisada
Fonte: Própria (2012)

2.2 Resíduo de Caulim

O caulim é uma argila constituída principalmente por caulinita e/ou haloisita que queima com cores branca ou clara a 1250°C. Dois tipos de caulim são comumente considerados para aplicação tecnológica: os residuais e os sedimentares. É de conhecimento geral que os caulins apresentem juntamente com seu argilomineral constituinte. O caulim como minério ou “mineral industrial” tem muitos usos devido a sua cor e, após a queima, baixa granulometria natural, pouca abrasividade, estabilidade química, forma específica das partículas do argilomineral constituinte, além das propriedades reológicas específicas adequadas em diferentes meios de fluídos.

A indústria de beneficiamento de caulim produz resíduos que dependendo da sua composição e quantidade, podem implicar em sérios danos ao meio ambiente. O resíduo obtido no beneficiamento de caulim é constituído essencialmente da fração não plástica da massa (quartzo e fundentes). O processo de beneficiamento de caulim primários na planície pegmatítica da Borborema tem um rendimento de 30% do total extraído da jazida, ou seja, de cada tonelada do material bruto, menos de um terço é aproveitado (Figura 2).



Fonte: Própria (2012)

Figura 2 - Deposição inadequada do resíduo de caulim

2.3 Tijolos Solo-cimento ou Ecológicos

Os tijolos de solo-cimento (Figura 3) constituem uma das alternativas para a construção de alvenaria em habitações e outras edificações. Na sua produção são utilizados os seguintes materiais: solo, cimento e água. As vantagens da utilização dos tijolos de solo-cimento vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras.



Fonte: Própria (2012)

Figura 3 - Tijolos ecológicos de solo-cimento

Os equipamentos utilizados são simples e de baixo custo. A mão-de-obra para operar a máquina de fabricação não precisa ser especializada. Sua resistência à compressão é semelhante à do tijolo convencional, mas a qualidade final é superior, possuindo dimensões regulares e faces planas.

Além das vantagens econômicas, o tijolo de solo-cimento agrada também com relação ao aspecto ecológico, pois não passa pelo processo de cozimento, no qual se consomem grandes quantidades de madeira ou de combustíveis minerais, como é o caso dos tijolos produzidos em cerâmicas e olarias.

2.4 AtividadePozolânica

Entende-se por atividade pozolânica como a capacidade que uma determinada pozolana tem em reagir com o hidróxido de cálcio, isto é, quanto maior o valor do hidróxido de cálcio consumido pela pozolana, maior sua atividade. Esta reação se processa da seguinte forma: durante as reações de hidratação do C_2S e C_3S ocorre a formação do $Ca(OH)_2$.

A sílica existente nas pozolanas reage com o $Ca(OH)_2$, formando os silicatos de cálcio hidratados (CSH) que tem menor reação CaO/SiO_2 , formando produtos de menor basicidade do que os produzidos pela hidratação dos silicatos de cálcio do cimento e, portanto, são mais estáveis quimicamente. Esta reação é geralmente lenta podendo levar meses para ser completada, entretanto, quanto mais vítrea e mais fina for à pozolana, mais rápida será a reação com a cal bem como a taxa de liberação de calor e o desenvolvimento da resistência são lentos (NITA e JOHN, 2007).



A atividade pozolânica de um material pode ser determinada de várias maneiras, através da avaliação da resistência mecânica, visto que a análise química não é suficiente para tal fim, embora seja útil no controle qualitativo das pozolanas. As propriedades exigidas das pozolanas para um determinado propósito são prescritas pela ASTM 618 (2006) e ABNT 12653 (2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Resíduo de rochas ornamentais (RG)

O resíduo de granito gerado pelo beneficiamento de rochas ornamentais foi gerado em uma empresa localizada em uma cidade do interior do Estado da Paraíba.

3.1.2 Resíduo de caulim (RC)

O resíduo de caulim encontra-se em depósito a céu aberto de uma empresa situada no interior Paraibano.

3.1.3 Solo

Foi utilizado um solo argiloso proveniente de um Município da Paraíba.

3.1.4 Água

Foi utilizada água potável, fornecida pela concessionária local (Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA), para o sistema de abastecimento da cidade.

3.1.5 Cimento

O cimento que foi utilizado neste trabalho de pesquisa segue os parâmetros das normas da ABNT NBR 5732/91, NBR 5733/91, NBR 5735/91 e NBR 5736/91, tipo CP II-F-32 da marca CIMPOR.

3.2 Métodos

3.2.1 Beneficiamento dos materiais

O resíduo de rochas ornamentais passou por processo de separação de materiais indesejáveis para este estudo foi seco em uma estufa com temperatura de 110°C por 24 horas, logo depois de coletado e seco foi passado no moinho de bolas para desmanche dos torrões e coletado o material para análises de caracterizações.

O resíduo de caulim foi triturado em moinho de galga para diminuir o tamanho dos grãos de maior proporção. Não foi suficiente o moinho de bolas, pois o resíduo de caulim tem a presença de partículas muito resistentes como quartzo e feldspato. Após a trituração este material foi beneficiado em peneira N°200 (0,074 mm), para serem submetidos aos ensaios de caracterização.

3.2.2 Caracterização dos materiais

– Análise Química

A técnica utilizada para obtenção da análise química foi à espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), em equipamento EDX 700 da marca Shimadzu. Para serem submetidas a este ensaio as amostras de solo, cimento e resíduo de demolição foram beneficiados em peneira ABNT nº 200 (0,074mm).

3.2.3 Moldagem e cura dos tijolos ecológicos de solo-cimento

Os tijolos ecológicos de solo-cimento-resíduo de rochas ornamentais/caulim com dimensões 0,25m de norma comprimento 0,70m de altura e 0,125m de largura foram moldados em uma prensa modular SAHARA de acordo com a norma ABNT NBR 10832/89.

Foram confeccionados tijolos com incorporação de 10%, 20% e 30% de resíduo de rochas ornamentais (RG) e de resíduo de caulim (RC) com 30%, 40% e 50% em substituição a parte do aglomerante (cimento) e o solo. O traço utilizado para a confecção destes tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduo de rochas ornamentais/caulim foi de 1:9.

3.2.4 Ensaios Tecnológicos

– Resistência a Compressão Simples

A Resistência a Compressão Simples foi determinada segundo a norma ABNT NBR 10836/94. A norma vigente determina que a resistência média dos tijolos de solo cimento deve ser igual ou superior a 2,0 MPa aos sete dias de idade.

Nos ensaios de resistência primeiramente, serraram-se os tijolos ao meio para garantir uma maior simetria, logo após foram capeados com espátulas favorecendo superfícies planas e uma maior estabilidade. As duas metades do mesmo tijolo foram sobrepostas e colocadas na prensa de modo que o centro de gravidade estivesse no eixo de carga da prensa manual.

– Atividade Pozolânica

As propriedades exigidas das pozolanas para um determinado propósito são prescritas pela ASTM 618 (1991) e ABNT 12653 (1992). Para pozolanas são necessárias as seguintes propriedades: um conteúdo mínimo de 70% de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, um máximo conteúdo de 5% de SO₃, uma máxima perda ao fogo de 12%, e um conteúdo máximo de álcalis (expresso como Na₂O) de 15% (CASTRO, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações dos materiais

As análises químicas do resíduo de rochas ornamentais e de caulim foram realizadas no Laboratório de Caracterização dos Materiais – UFCG estão representadas na Tabela I.

Tabela 1 - Composição química do resíduo de rochas ornamentais e o resíduo de caulim

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Outros óxidos
RG	59,56 %	16,46 %	2,82 %	4,16 %	6,58 %	6,14%	2,32%	1,96%
RC	59,31 %	36,33 %	2,31 %	1,64 %	0,25 %	-	-	<5

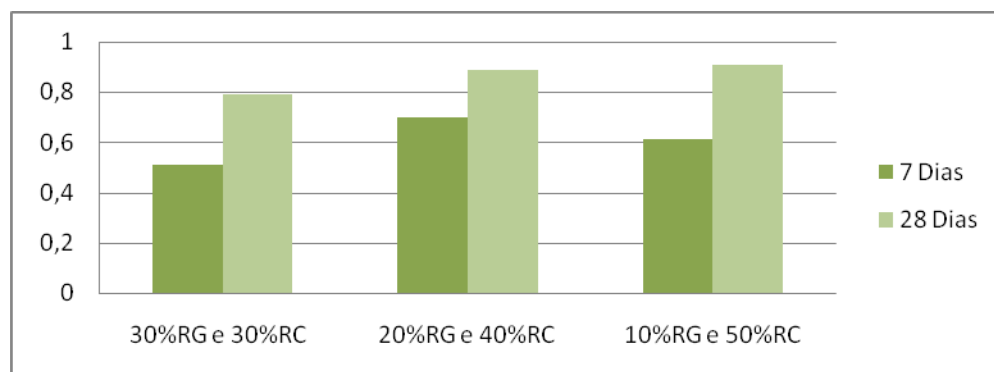
Fonte: Laboratório de Caracterização dos Materiais – UFCG

Como apresenta a Tabela I o resíduo de rochas ornamentais possui um teor considerável de alumina (16,46%) e óxido de ferro (6,68%). Como se verifica o resíduo de caulim compõe-se principalmente de sílica (59,31%), alumina (36,33%) e outros componentes, caracterizando-se como um típico material reativo e de características pozolânicas, ambos atendendo os requisitos necessários para tal classificação. Os valores de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ superarão o valor mínimo de 70% exigido pela ASTM C618 (2005) indicando assim que os resíduos estudado tem provavelmente atividade pozolânica.

4.2 Ensaios Tecnológicos

A Figura 4 apresenta os valores em leitura gráfica para a RCS dos tijolos fabricados com resíduo de rochas ornamentais e resíduo de caulim.

Figura 4 - Resistência à Compressão Simples os tijolos fabricados com resíduo de rochas ornamentais e resíduo de caulim



Fonte: Própria (2012)

Na Figura 4 verifica-se que os resultados de RCS dos tijolos ecológicos de solo-cimento determinados com o resíduo de rochas ornamentais/caulim beneficiado obtiveram valores não muito satisfatórios, abaixo do que determina a norma NBR 10836/94 que fixa esses valores maiores ou igual a 2 MPa. A composição destaque foi de 10% RG e 50% RC com valor de 0,91 MPa. Isso aconteceu provavelmente pelo fato do resíduo de caulim apresentar uma granulometria mais específica aumentando sua resistência pela aderência mais favorecida dos grãos para confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento incorporado com resíduo de rochas ornamentais/caulim.

A Tabela 2 apresenta os valores de RCS dos tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos de rochas ornamentais/caulim para o estudo da atividade pozolânica.

Tabela 10 - Índice de atividade pozolânica

Composições	7 Dias	28 Dias
30%RG e 30%RC	0,51	0,79
20%RG + 40%RC	0,70	0,89
10%RG + 50%RC	0,61	0,91

Fonte: Própria (2012)

Analisando os resultados da Tabela 2 verifica-se que os tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos de rochas ornamentais/caulim com incorporação de 10% resíduo de rochas ornamentais e 50% resíduo de caulim apresentam maiores graus de pozolanidade para todos os períodos de cura. Os tijolos incorporados com 30% resíduo de rochas ornamentais e 30% de resíduo caulim demonstraram baixa atividade pozolânica.

5. CONCLUSÃO

- a) O resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais é constituído de elevados teores de Al_2O_3 e SiO_2 , sendo classificado como sílico-aluminoso. O resíduo de caulim é constituído por caulinita, quartzo e mica, apresenta larga distribuição granulométrica e composição química de acordo com os requisitos pela norma da ABNT. Somando para o resíduo de rochas ornamentais temos um valor de 82,60% e para o resíduo de caulim 95,86% mostrando superiores a 70% o que, segundo a norma ABNT NBR 12653/92 e ASTM C 618 (1981), é favorável à atividade pozolânica.
- b) Os tijolos moldados com o caulim moído apresentaram uma melhor aderência tendo influência na atividade pozolânica pela menor granulometria e maior área de contato entre os grãos aumentando sua resistência, a composição de 10% RGs + 50% RC se destacou com o melhor traço para o ensaio de Resistência à Compressão Simples, mas não superaram o esperado pelo trabalho de pesquisa tendo como maior valor 0,91MPa.

Dessa maneira, conclui-se que para a utilização do resíduo de rochas ornamentais e caulim em tijolos ecológicos de solo-cimento configura-se numa excelente opção, onde os mesmos são lançados indevidamente no ambiente prejudicando a saúde de moradores, a vida animal e vegetal presentes no local, conseqüentemente gerando evidentes impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- Abirochas. Balanço das exportações e importações de rochas ornamentais em 2007. São paulo, abirochas, 2008. Disponível em http://www.ivolution.com.br/retrospectiva_2007.pdf. Acesso: 30 de março de 2012.
- ASTM – American Society for Testing and Materials Standard. Specification for coal fly ash and raw of calcined natural pozzolans for use as mineral admixtures in concrete, c-618.1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 12653: Materiais pozolânicos– exigências químicas e físicas, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual. Rio de janeiro, 1992. 8 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10836: bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. Rio de janeiro, RJ, 1994. 2p.

Castro, W. A. de M. Incorporação de resíduos de caulim em argamassas para uso na construção civil. Dissertação de mestrado em ciência e engenharia de materiais – UFCG, campina grande-pb, 2008.

John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, tese (livre docência) – escola politécnica, universidade de são Paulo, 102p, 2000.

Lima, R. C. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. Dissertação (mestrado). Universidade federal de campina grande. Campina grande, 2010. 107p.

Nita, C.; Jonh. V. M. Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa. Boletim técnico da escola politécnica da usp. Departamento de engenharia de construção civil; 2007.

Queiroz, J.P.C.; Caranassios, a.. Petrografia microscópica e caracterização de rochas ornamentais. In: jornada do programa de capacitação interna, 1-- CETEM. Disponível em: www.cetem.gov.br/publicação/serie-_anais_l_ipci-_2008/joedy_patricia.pdf acesso em: 01 de fevereiro de 2012.

Vargas, T; Motoki, A; Neves, J. L. P.. Rochas ornamentais no Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exportação comercial e utilidades com materiais de construção. Revista de geociência, rio de janeiro, p. 119 – 132. Disponível em: www.geocities.com/rochasornamentais/2001/itu2/itu2.pdf. Acesso em: 01 de abril de 2012.

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E REJEITOS NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

L.M. Mofati¹, F. W. H. Vidal¹, R.E.C. da Silva¹, J.C.G. Correia¹ e R.C.C. Ribeiro¹

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE,
Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária,
Rio de Janeiro – RJ, email: fhollanda@cetem.gov.br

RESUMO

A cadeia produtiva mineral é um processo que envolve múltiplos atores e inclui as atividades de lavra, beneficiamento do minério e comercialização do produto final. Como toda atividade mineral, ela produz impacto ambiental, interferindo no ar, nas águas, produzindo vibrações, ruído e mudando a dinâmica social do seu entorno. No caso do segmento de rochas ornamentais, a extração ocorre nas pedreiras, seguindo-se nas serrarias o desdobramento dos blocos, transformando-os em produtos semi acabados e, posteriormente, o beneficiamento secundário em produtos acabados. Em cada fase do processo existe um foco poluidor e a capacidade de produção de resíduos e rejeitos, assim como as dificuldades relacionadas à destinação final tem sido o desafio, especialmente após a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Alternativas para a utilização dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais são estudadas de modo a considerar o resíduo como um “minério” de interesse industrial e econômico e buscam demonstrar sua viabilidade técnica e econômica de modo a torná-los insumos potenciais dos principais setores industriais consumidores, como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros e a própria indústria de rochas ornamentais e de revestimento (uso em mosaicos, tesselas, entre outros). Tais iniciativas permitem novas possibilidades de retorno para a empresa, que ampliará seu nicho de mercado, uma vez que a demanda por insumos minerais é crescente, e atenderá às novas exigências ambientais quanto aos novos padrões de consumo, a exemplo das certificações ambientais para a construção civil. Neste sentido, o presente trabalho objetiva demonstrar os estudos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), voltadas para a recuperação de resíduos sólidos oriundos do segmento de rochas ornamentais e de revestimento, de modo a projetar futuras aplicações de uso e inserção na cadeia produtiva. Os exemplos aqui descritos serão nas áreas de argamassa (regiões de Santo Antônio de Pádua – RJ e Várzea – PB) e compostos poliméricos (Ourolândia – BA).

Palavras-chave: Rochas ornamentais, gestão de resíduos, cadeia produtiva.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva mineral geralmente inclui, no âmbito da atividade de mineração: lavra, processamento de minérios, transformação mineral e comercialização do produto final. O estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) sobre a cadeia produtiva de rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo (MELLO, 2004), descreve o processo em seu ciclo de produção, distribuição e serviços, que envolve a extração de matérias primas em pedreiras, seu desdobramento por serragem em produtos semi acabados e o acabamento de produtos finais, conforme adaptado na figura 1.

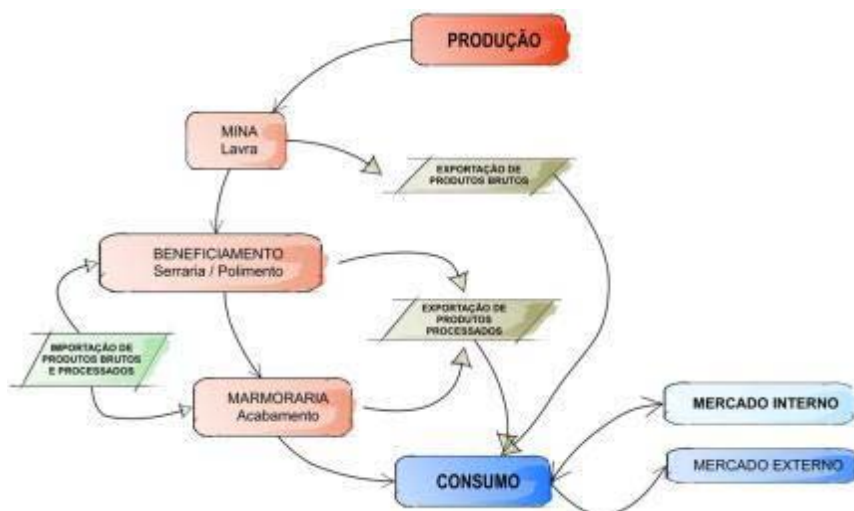


Figura 1 – Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais. Adaptado de: Mello, 2004.

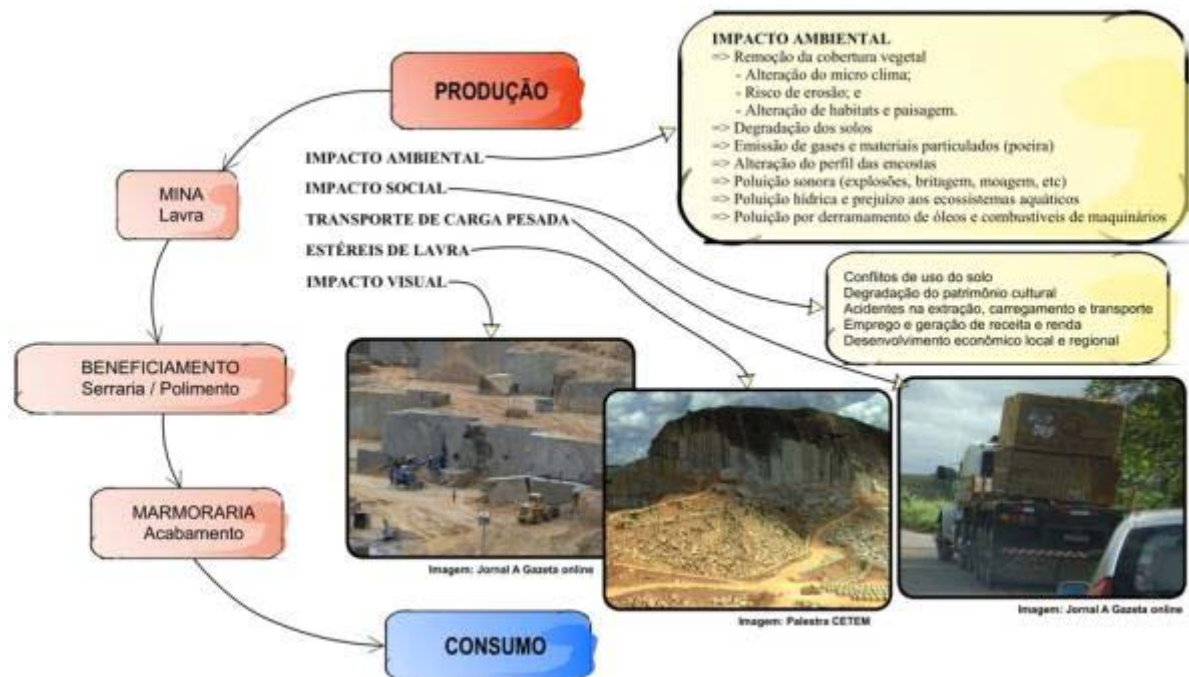
No ciclo produtivo de rochas ornamentais (Figura 1), a extração ocorre nas pedreiras (minas), seguindo-se nas serrarias, o desdobramento dos blocos, transformando-os em produtos semi acabados e, posteriormente, o beneficiamento secundário em produtos acabados. A marmoraria é responsável pelo beneficiamento de produtos acabados, mas as serrarias também podem efetuar produtos acabados para o mercado. A logística de abastecimento é complexa, envolvendo transbordo de cargas pesadas, e onde os insumos pétreos circulam entre os três elos da produção: mina, serraria e marmoraria. A serraria e a marmoraria também importam produtos brutos e processados.

Com relação ao mercado, além da comercialização dos produtos pétreos entre os elos de produção, os produtos finais podem ser comercializados diretamente pelos produtores ou por intermediários, como depósitos especializados e pontos de venda de materiais de construção. Já a exportação e a importação de produtos pétreos, em sua forma bruta, semi processada ou processada, pode se dar via produtores ou por agentes de exportação, *tradings* e representantes comerciais.

Após descrever a complexidade de sua cadeia produtiva, cabe esclarecer que em cada fase do processo produtivo da atividade mineral existe um foco poluidor ou um impacto social. Para o escopo deste trabalho, o foco se dará nos elos essenciais da cadeia produtiva, especificamente nas etapas de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais, tendo em vista que a análise dos minérios marginais (rejeitos) com vistas a torná-los resíduos e ao desenvolvimento de novos produtos tem sido desenvolvida em parceria com as pedreiras (mina) e serrarias existentes em diferentes estados do Brasil.

A Figura 2 ilustra os impactos relacionados à produção de rochas ornamentais. Note que, com relação aos impactos sociais, ao mesmo tempo em que a prospecção e acabamento geram conflitos de uso do solo e questões de responsabilidade social, a atividade gera renda e emprego, além de desenvolvimento local e regional. Além disso, muitas vezes estes impactos não são percebidos pela população local, que

vê na perspectiva de crescimento econômico a única justificativa para a existência do empreendimento mineral.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 – Impactos da cadeia produtiva de rochas ornamentais com foco na indústria extrativa.

Mas é consenso que as etapas de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais, como toda atividade mineral prospectiva, produz impacto ambiental e interfere no ar, nas águas, produz vibrações, ruído e muda a dinâmica social do seu entorno. Com isso, ela está sujeita a regulamentação nas três esferas do poder público, federal, estadual e municipal, seja na área ambiental, na área mineral ou nas áreas que regulam o uso e a ocupação do solo, não se esquecendo de mencionar as regulamentações que tratam da segurança e saúde do trabalhador. Em específico para o segmento de rochas ornamentais, a capacidade de produção de resíduos e rejeitos, assim como as dificuldades relacionadas à destinação final tem sido o desafio, especialmente após a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Na Lei 12.305/2010, que institui a PNRS, o resíduo sólido passa a ser definido, em linhas gerais, como todo o material resultante de atividades humanas em sociedade cuja destinação final não seja o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, exigindo, portanto, soluções técnica e o gerenciamento para a sua destinação ambientalmente adequada. O rejeito, por sua vez, é todo resíduo sólido que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (a exemplo dos aterros sanitários).

Desta feita, alternativas para a utilização dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais vêm sendo estudadas, de modo a considerar o resíduo como um “minério” de interesse industrial e econômico. Como justificativa, além do reaproveitamento dos estoques remanescentes, buscam demonstrar sua viabilidade técnica e econômica de modo a torná-los insumos dos principais setores industriais consumidores destes resíduos, como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros e a própria indústria de rochas ornamentais e de revestimento (uso em mosaicos, tesselas, entre outros). Tais iniciativas permitem novas possibilidades de retorno para a empresa, que ampliará seu nicho de mercado, uma vez que a demanda por insumos minerais é crescente, atenderá às novas

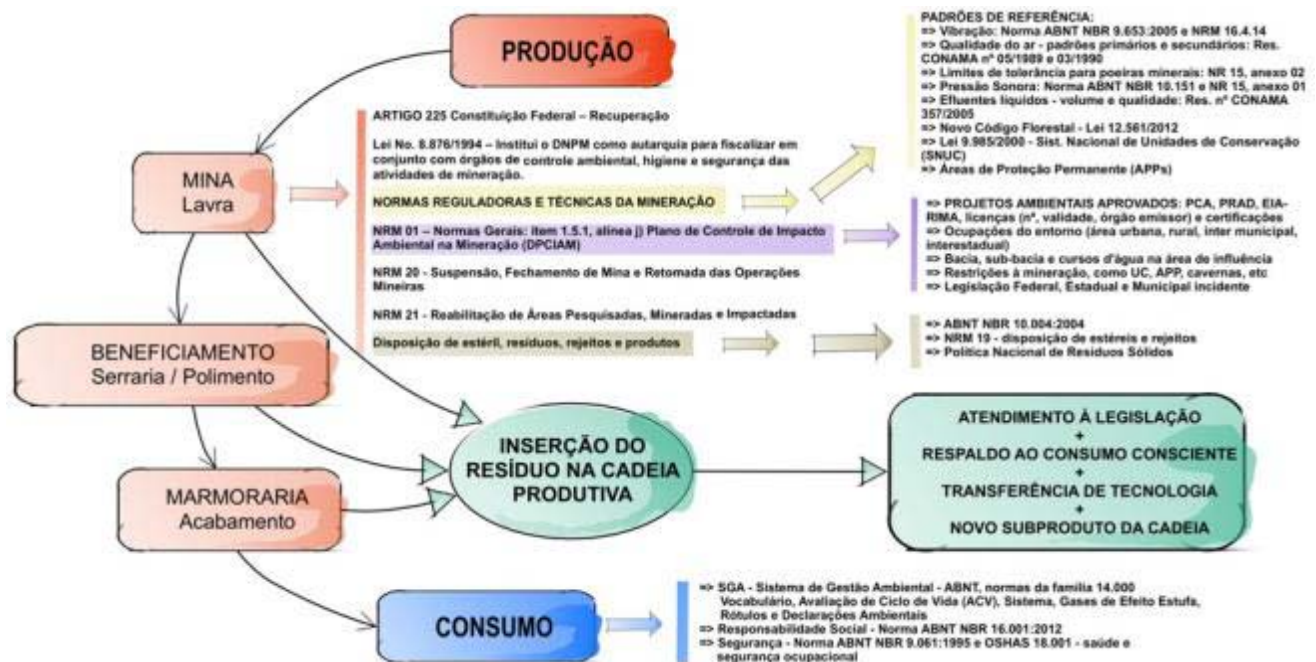
exigências ambientais, bem como aos novos padrões de consumo, a exemplo das certificações ambientais para a construção civil.

Neste sentido, o presente trabalho objetiva demonstrar a relevância dos estudos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), voltados para a recuperação de resíduos sólidos oriundos do segmento de rochas ornamentais, de modo a projetar futuras aplicações de uso dos resíduos como insumos minerais, bem como a sua introdução na cadeia produtiva.

2. O ATENDIMENTO A LEGISLAÇÃO E A ADOÇÃO DE PRÁTICAS RESPONSÁVEIS E PRÁTICAS AMBIENTAIS NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Há uma crescente preocupação da sociedade com os passivos ambientais das atividades minerais, e o potencial para impactos significativos é maior quando a mineração ocorre em áreas remotas, ambientalmente ou socialmente sensíveis. E tem sido observado um aumento da atividade extrativa mineral em ecossistemas remotos e ricos em biodiversidade, em função da contínua demanda por minerais, da diminuição dos recursos em áreas mais acessíveis, somado às mudanças tecnológicas e econômicas no setor de mineração (ICMM, 2006). Mas por outro lado, é inegável o impacto social positivo desta atividade, especialmente nas áreas remotas, que carecem de renda, geração de empregos e outras condicionantes para a fixação da população no entorno.

A dificuldade de sistematização e implementação das diversas esferas de controle e comando que fazem parte da atividade de mineração, como normas técnicas, regulamentos e certificações de cunho técnico e ambiental, leis, diretrizes e políticas nacionais, dentre outros ilustrados na Figura 3, tornam a atividade mais favorável a grandes corporações.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 3 – O atendimento à legislação e a adoção de práticas responsáveis e práticas ambientais.

Como exemplo, no arcabouço de instrumentos legais para implantação de empreendimentos mineiros, com relação aos aspectos ambientais, a Constituição Federal, em seu artigo 225, determina a obrigatoriedade de quem explora os recursos minerais de recuperar o meio ambiente degradado (Constituição, art. 225, § 2o); também que as substâncias minerais são recursos ambientais. (Lei de

Política Nacional do Meio Ambiente, art. 3o, V); ainda que a concessão de lavra dependente de prévio licenciamento ambiental (Lei no 7.805/1989, art. 16).

Cabe observar que a viabilidade ambiental de um empreendimento mineiro também está sujeita aos parâmetros do Plano de Aproveitamento Econômico - PAE aprovado pelo DNPM, que será submetido ao órgão ambiental competente para autorizar a sua execução, uma vez que a autarquia exige a respectiva licença ambiental, antes da outorga da portaria de lavra ao concessionário. Complementando, o Código de Mineração obriga o concessionário a lavrar a jazida de acordo com o Plano de Aproveitamento Econômico aprovado pelo DNPM, e a não promover lavra ambiciosa (aquela conduzida sem a observância do PAE).

A Figura 3 ilustra as condicionantes acima e também lista as normas e exigências técnicas adicionais para a operação e execução do empreendimento (com foco na lavra, para efeitos ilustrativos). Com relação à adoção de critérios mercadológicos de qualidade e certificação de produto, a indicação geográfica, ou indicação de procedência ou mesmo denominação de origem, por associarem a região, o território ou o lugar, representam formas de agregar valor e credibilidade a um produto ou serviço, conferindo-lhes um diferencial de mercado em função das características de seu local de origem.

No caso de uma certificação ambiental aplicada a produtos de origem mineral, tornar-se-á estratégico em um futuro próximo, poder atestar que a cadeia produtiva ou que parte dela apresenta responsabilidade social e menor impacto ambiental em relação a outros produtos "comparáveis" disponíveis no mercado, especialmente quando se tratar de uma mina ou local de extração. Apesar de serem processos gerenciais caros, a adoção de práticas responsáveis e ambientais traduzem-se em vantagens competitivas para as empresas, que se colocam a frente das demais em face de tendência mundial de consumo responsável, especialmente para arranjos produtivos com foco no mercado externo.

Em paralelo, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, em seu diagnóstico para a mineração, em fase de elaboração, reafirma a possibilidade de se trabalhar com os até então considerados "rejeitos" da mineração (agora definidos pela lei como resíduos), uma vez que 80% destes são considerados estéreis ou inertes. Ao tempo que orientam para os cuidados com as barragens de rejeitos e indicam forte convergência entre os preceitos da PNRS e das ações previstas no Plano Nacional de Mineração 2030, que explicita ao setor a necessidade de estabelecer uma clara diretriz quanto à reciclagem de metais e outros minérios, por meio do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. (IPEA, 2011)

Em resumo, o atendimento às exigências ambientais e técnicas, a adoção de práticas responsáveis e práticas ambientais tem tornado a atividade onerosa, especialmente para as micro e pequenas empresas. Neste cenário, a perspectiva de agregar valor à cadeia produtiva pode representar a manutenção da atividade para o segmento, e a parceria entre a entidade de pesquisa e o setor produtivo, além de fomentar pesquisa e desenvolver tecnologia, também gera a transferência tecnológica, tão necessária aos processos de inovação.

3. A INSERÇÃO DO RESÍDUO NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Segundo Vidal *et al* (2007), o conhecimento das propriedades físicas, físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como rochas ornamentais e de revestimento são fatores econômicos determinantes na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material. Hoje também podem ser pensadas como características essenciais para a ampliação da cadeia produtiva de rochas ornamentais. E as experiências retratadas neste artigo focaram nos estudos da composição química média observada nos resíduos de rocha ornamental, nas concentrações médias e nos elementos de interesse, de modo a considerá-los "minérios" de interesse industrial e econômico, e na perspectiva de que pudessem ser inseridos na cadeia produtiva como insumos para a indústria

cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, a pavimentação asfáltica, as indústrias de vidro, cosméticos, papel e argamassa.

Os setores industriais, foco deste trabalho, que podem consumir estes resíduos, como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, as indústrias de vidro e argamassa, estão listados e sintetizados na Tabela I a seguir descrita.

Tabela 1 - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias

TIPOS DE RESÍDUOS	FUNÇÃO DO RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS	OPERAÇÕES UNITÁRIAS NECESSÁRIAS
USO: CERÂMICA			
Principalmente os que apresentam altos teores de feldspatos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fundente ▪ Diminuição da temperatura de vitrificação e queima da cerâmica. ▪ Permite maior controle da contração linear. ▪ Diminui a porosidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Granulometria < 0,149 mm ▪ Baixo teor de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Britagem ▪ Moagem ▪ Peneiramento ▪ Separação Magnética
USO: AGRICULTURA			
Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Correção de pH do solo – calagem. ▪ Eliminação do efeito do alumínio e manganês. ▪ Suprir nutrientes do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevada área superficial. ▪ $PN^1 > 67\%$ ▪ $PRNT^2 > 45\%$ ▪ $CaO + MgO > 38\%$ ▪ Teor de Magnésio > 10% ▪ Teor de alumínio < 1% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Britagem ▪ Moagem ▪ Peneiramento ▪ Separação Magnética
Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Suprir nutrientes do solo – rochagem³. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevada área superficial. ▪ Teor de alumínio < 1% ▪ Elevados teores de potássio. 	
USO: POLÍMEROS			
Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga ▪ Melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e termomecânicas ▪ Diminuir custos. ▪ Aumentar o reforço. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Granulometria < 0,149 mm. ▪ Baixa dureza. ▪ Teor de sílica < 1%. ▪ Teor de ferro < 5%. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Britagem ▪ Moagem ▪ Peneiramento ▪ Separação Magnética
USO: VIDRO			
Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SiO_2 - formador da rede vítrea. ▪ A_2O_3 - formador de rede. ▪ Fe_2O_3 - colorante na formulação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Na_2O entre 12 e 17% ▪ CaO entre 8 e 12% ▪ Massa específica – $2,5 g/cm^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Britagem ▪ Moagem ▪ Peneiramento ▪ Separação Magnética
Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CaO e MgO – óxidos modificadores de rede e rompem a estrutura vítrea, reduzindo viscosidade e ponto de fusão do vidro. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teor de óxido de cálcio > 30% ▪ Teor de óxido de alumínio < 0,4% ▪ Teor de óxido de ferro < 0,2% 	
USO: CONCRETO E ARGAMASSA			
Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga ▪ Aumentar a resistência à compressão e abrasão do concreto. ▪ Aumentar a resistência a cloretos e sulfatos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma arredondada de partículas. ▪ Perda ao fogo > 40% ▪ Teor de ferro < 0,7% ▪ Teor de alumínio < 2% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Britagem ▪ Moagem ▪ Peneiramento ▪ Separação Magnética

Tendo em vista as composições químicas e funções dos resíduos, bem como as operações necessárias para torná-los insumos, o próximo passo foi elencar os principais resíduos por segmento e criar metodologias e práticas laboratoriais para cada um, adaptando as técnicas obtidas em escala de bancada para a realidade dos parques produtivos e locais de beneficiamento. Alguns estudos em laboratório puderam ser realizados em piloto visando à ampliação de escala para obtenção de dados e parâmetros para a planta industrial.

Os estudos de caso descritos neste trabalho focam nos setores industriais de polímeros, concreto e argamassa, e retratam uma parte da experiência do CETEM no apoio às micro e pequenas empresas produtoras de gnaiss, localizadas em Santo Antônio de Pádua – RJ, as de extração e beneficiamento de quartzitos na cidade de Várzea, região do Seridó – PB, e as de extração do calcário, conhecido comercialmente como mármore bege Bahia, localizadas na região centro norte da Bahia – BA.

3.1 - Gnaiss de Santo Antônio de Pádua – RJ

A região, localizada no noroeste do Estado do Rio de Janeiro, é considerada um dos principais polos de extração de rochas ornamentais do Estado, especificamente na extração de gnaisses. Até mais ou menos o início do século XXI, a disposição dos resíduos ocorria de maneira desordenada nas serrarias, ou eram lançados em rios e córregos da região, acarretando graves problemas ambientais. A tabela II esquematiza as ações efetuadas com o apoio do CETEM, que permitiram a análise do rejeito, reciclagem do resíduo, a transferência tecnológica e os impactos na cadeia produtiva.

Tabela 2 – A análise do rejeito à inserção do resíduo na cadeia produtiva

ESTUDO DO REJEITO	<p>O CETEM realizou um estudo dos efluentes (pó de rocha + água) gerados nas serrarias de Santo Antônio de Pádua, visando à recuperação da água e dos finos de rocha, para evitar que esses finos, em torno de 720 t/mês, continuassem sendo lançados nos rios e córregos da região, provocando seu assoreamento, dentre outros problemas ambientais.</p> <p style="text-align: right;">Descarte inadequado de resíduos →</p>	
ESTUDO DO REJEITO + SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS	<p>O estudo foi iniciado nos laboratórios do CETEM, visando ao dimensionamento adequado de tanques de decantação para os resíduos finos que, posteriormente, foram implantados nas próprias empresas, para a separação dos finos de rocha da água.</p> <p style="text-align: right;">Tanques de decantação instalados nas serrarias →</p>	
RECICLAGEM DA ÁGUA UTILIZADA NO PROCESSO	<p>Com a separação dos finos de rocha da água foi possível recuperar 95% da água utilizada e circulá-la nas serrarias.</p>	
APLICAÇÃO INDUSTRIAL DO FINO DAS SERRARIAS	<p>Os finos da serraria eram estocados nos pátios das próprias serrarias e a falta de espaço motivou os estudos para aproveitamento desses resíduos. A parceria CETEM e INT iniciou as investigações as quais indicaram as seguintes possíveis aplicações industriais: argamassas, produtos cerâmicos e borracha. Estudos mais aprofundados foram realizados pelo CETEM e UENF, e os resultados foram muito favoráveis para aplicações na fabricação de argamassa e produtos cerâmicos (tijolos e telhas).</p>	
TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA	<p>Complementou-se o estudo com a análise de viabilidade técnica e econômica do projeto, visando o aproveitamento dos resíduos na fabricação de argamassas. Concluído o estudo, e com base na Lei de Inovação, foram realizadas negociações de transferência de tecnologia entre CETEM, INT e SINDGNAISSES com a empresa ARGAMIL, do Grupo Mil. Estas negociações foram bem sucedidas, e resultaram na instalação, por este Grupo, de uma fábrica de argamassa localizada no polo industrial de Santo Antonio de Pádua-RJ, que produz 450 t/dia do produto. Atualmente, os depósitos de resíduos de rochas da região foram consumidos e todo resíduo gerado é direcionado para a fábrica de argamassas.</p>	
AMPLIAÇÃO DO PARQUE PRODUTIVO	<p>A minimização do impacto ambiental que era causado pelos resíduos dessas serrarias propiciou, por parte do Órgão Ambiental e Ministério Público, o licenciamento para o funcionamento de 53 serrarias no município de Santo Antonio de Pádua.</p>	

3.2 Quartzitos do Seridó –PB

Na cidade de Várzea, região do Seridó paraibano existe a extração e beneficiamento de quartzitos. O quartzito é uma rocha resultante do metamorfismo do quartzo, componente principal (75%) e de outros minerais como silicatos, micas, os quais correspondem aos 25% da composição mineralógica. As rochas quartzíticas são utilizadas como rochas ornamentais na sua forma rústica, trabalhada ou polida. A Tabela III resume a experiência do CETEM na análise dos impactos ao beneficiamento sustentável do parque produtivo em estudo.

Tabela 3 – Beneficiamento sustentável do quartzito do Seridó

ESTUDO DO REJEITO	<p>No beneficiamento das rochas são gerados efluentes sólidos e líquidos constituídos por partículas micrométricas da rocha, partículas metálicas de ferro, oriundas do desgaste do disco de corte e água utilizada na refrigeração do disco. Os efluentes sólidos apresentam, em geral, granulometria inferior a 27,8 micrômetros quando saem das serrarias. Descarte inadequado de resíduos →</p> <p>Também são produzidas grande quantidade de aparas (resíduos grossos) que sobram do processo de esquadreamento. Esses resíduos são estocados em grandes pilhas localizadas nas serrarias, gerando impacto ambiental e danos à saúde dos trabalhadores, pelo pó emanado das pilhas pela ação dos ventos.</p> <p>Pilha de aparas estocadas →</p>	
VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO	<p>Além da argamassa produzida na usina, outros subprodutos são obtidos, a partir da mistura de materiais que seriam rejeitados na mesma, como os resíduos grossos das peneiras, <i>underflow</i> do ciclone e o pó coletado nos filtros de manga. Dentre esses subprodutos, podem ser destacados: ladrilhos, blocos estruturais e lajotas. Com os mesmos materiais citados, planejam-se as fabricações de massa corrida e tinta lavável.</p>	
ESTÍMULO A FORMALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	<p>O projeto de pesquisas desenvolvido pelo CETEM em 2009 estimulou a criação de uma cooperativa, a COOPVARZEA, que legalizou as suas áreas de lavra.</p>	
RECICLAGEM E APLICAÇÃO INDUSTRIAL DO RESÍDUO	<p>A parceria com o CETEM também permitiu a criação de uma usina piloto para produção de argamassas e tijolos a partir dos resíduos das rochas. A usina piloto contou com equipamentos adquiridos pelo projeto, como máquinas de corte, prensa, britadores, dentre outros, que permitiram o beneficiamento e posterior aproveitamento dos resíduos na produção de argamassas. Para aplicação na indústria de argamassas, os resíduos foram britados em britadores de mandíbula e moídos em moinhos de martelos, visando alcançar a distribuição granulométrica adequada para a fabricação de argamassas (abaixo de 35 malhas), posteriormente, foram homogeneizados para geração do produto final.</p>	
TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA	<p>Devido ao bem sucedido projeto realizado em Santo Antônio de Pádua – RJ, foram realizadas visitas técnicas para o dimensionamento e implementação dos tanques de decantação nas serrarias, bem como para a implantação da Usina Piloto de argamassa da empresa TECQUÍMICA, em Várzea – PB, utilizando resíduos de rochas de quartzito. A usina está preparada para aproveitar os resíduos finos gerados pelas serrarias da região, bem como de aproveitar as mais de 17 ton/dia de aparas geradas pelas empresas, com meta de produzir 15 ton/dia de argamassa. Foi elaborada uma patente pela empresa TECQUÍMICA para apresentar uma alternativa ecologicamente correta, convertendo os rejeitos de quartzito oriundos da serragem de pedras, em insumos de constituição padronizada requeridos comercialmente para a aplicação em obras ornamentais da construção civil.</p>	

4.3 - Mármore Bege Bahia - BA

A Bahia é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do Brasil e o único produtor do mármore bege Bahia, possuindo uma das mais completas diversidades de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados. As jazidas e ocorrências do mármore bege Bahia se distribuem entre os municípios de Ouro-lândia, Campo Formoso, Mirangaba, Jacobina e Umburamas, no centro norte da Bahia. Os principais pólos de extração do mármore bege Bahia, em ordem crescente de importância, são os de Curral Velho (Campo Formoso), Mirangaba e Ouro-lândia.

Os métodos de lavra do mármore bege Bahia variam desde bancadas baixas a altas e as tecnologias desde artesanais e pouco sustentáveis a avançadas, predominando atualmente cortes com ferramentas diamantadas (máquinas de fio diamantado). As tecnologias de desdobramento de blocos em peças ornamentais são também variáveis, seja por meio de teares de multilâminas diamantadas a talha-blocos. Assim, por meio do APL do mármore bege Bahia, onde o CETEM teve grande participação e coordenação, foi proposta a criação de um pólo industrial entre Ourolândia e Jacobina, para o desenvolvimento sustentável da lavra e do beneficiamento. No que tange ao processo de extração do mármore Bege Bahia, a atuação do CETEM pode ser sintetizada na Tabela IV abaixo.

Tabela 4 – Viabilidade de aplicação industrial do resíduo da produção do mármore Bege Bahia

<p>ESTUDO DO REJEITO</p>	<p>A extração e beneficiamento dessa rocha gera uma quantidade significativa de materiais grosseiros, em função da quebra das peças durante o corte, também de materiais finos que aparecem na forma de lama, totalizando cerca de 250 mil t/ano. Esses rejeitos são acumulados nas pedreiras e serrarias, sendo posteriormente encaminhados para aterros próprios. Com o aumento da produção ao longo dos anos, os aterros encontram-se cada vez mais incapacitados de receber resíduos, sendo necessários estudos para aplicação dos mesmos.</p> <p>Descarte dos resíduos grossos →</p>	
<p>VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS</p>	<p>A aplicação dos resíduos foi direcionada para a indústria polimérica, que adiciona cargas minerais aos seus materiais termoplásticos. As cargas são incorporadas aos plásticos visando à melhoria das propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudam a aparência superficial e as características de processamento e ainda reduzem os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha.</p>	
<p>ESTUDO PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL DO RESÍDUO</p>	<p>Os resíduos do mármore Bege Bahia foram peneirados até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e em seguida, foram desagregados para o processamento de compósitos poliméricos com polipropileno. O processamento dos compósitos foi realizado por meio de extrusora, gerando compósitos poliméricos para os seguintes teores percentuais de resíduos: 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50, em massa. Os materiais gerados foram avaliados segundo os valores de densidade, resistência mecânica e a intempéries.</p>	 <p>Perfis de fita dos compósitos poliméricos</p>
<p>APLICAÇÃO INDUSTRIAL</p>	<p>Os resultados indicaram a possibilidade de incorporação de até 50%, em massa, de resíduo na matriz de polipropileno, obtendo-se um compósito de baixa densidade e elevadas resistências mecânica e de alterabilidade. Dessa forma, sugere-se a geração de mobiliário escolar e urbano com esses materiais, bem como na confecção de materiais onde a redução de peso é importante, como peças automotivas e de aviação, uma vez que a densidade desse material, em torno de 1,2 g.cm⁻³ é extremamente baixa.</p>	

4. CONCLUSÃO

O presente artigo expõe a complexidade da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais e de revestimento, também que esta complexidade se soma à recrudescência da legislação, tendo em vista que a atividade, como outras do setor mineral, promove impactos em todos os elos de sua cadeia produtiva, especialmente nas etapas de lavra e de beneficiamento. Adicionalmente, aponta para as novas condicionantes impostas pela adoção da política e do plano nacional de resíduos sólidos, que ampliará tais exigências, agora com a disposição final do rejeito e com o novo modelo de gestão do resíduo, em fase de concepção. Por fim, soma aos marcos regulatórios minerais e às exigências técnicas de prospecção e beneficiamento, as novas condicionantes mercadológicas de consumo consciente e certificação, que criam vantagens competitivas para os empreendimentos minerais com foco em exportação.

No cenário acima, a perspectiva de manutenção da atividade para o segmento é em muito facilitada pela parceria entre a entidade de pesquisa tecnológica e o setor produtivo, que além de fomentar pesquisa e desenvolver tecnologia, também gera a transferência tecnológica, tão necessária aos processos de inovação. Os exemplos aqui descritos demonstraram esta parceria. A atuação do CETEM nos estudos para a inserção do resíduo na cadeia produtiva nas áreas de argamassa e compostos poliméricos foi extremamente satisfatória e, no caso de Santo Antônio de Pádua, os trabalhos resultaram na fábrica de argamassa localizada no Pólo industrial, que produz 450 t/dia do produto. Já no caso de OuroLândia – BA, o foco da aplicação, devido à composição do resíduo, foi a indústria polimérica, que consome uma grande quantidade de cargas minerais aos seus materiais termoplásticos. Mas a exposição destas experiências não esgota o tema. Permanece a necessidade de estudos para o descarte ambientalmente satisfatório do rejeito, há que se pensar em novas propostas que ampliem a transferência tecnológica e especialmente para a inovação, em propostas sistematizadas de difusão do conhecimento.

REFERÊNCIAS

Castro, N.F., et al. Impacto do APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. Apresentação de trabalho no evento Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial - SGM/MME e CETEM/MCTI, 30 de novembro, 2011. Disponível em: <www.cetem.gov.br/rio20/galerias/2010/06-impacto-apl-rochas-ornamentais-es>. Acesso em 17/08/2012.

Curi, Adilson. Análise qualitativa da sustentabilidade ambiental da mineração: mito e realidade. In: Villas-Bôas R.C. *Indicadores de Sustentabilidade para a Indústria Extrativa Mineral* - Estudos de Casos, CETEM / MCT / CNPq, 56 p., ISBN 978-85-61121-75-4, 2011.

Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Fiscalização do controle ambiental na mineração. Disponível em: <www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1363>. Acesso em 13/08/2012.

ICMM - International Council on Mining and Metals. Diretrizes de Boas Práticas para Mineração e Biodiversidade. Londres, Reino Unido, 2006. Disponível em: <www.icmm.com>. Acesso em: 15/08/2011, às 15 h 39 min.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 10/07/2012, às 13 h 03 min.

Mello, I.S.C. (Coord.). A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: Diretrizes e ações para inovação e competitividade. Capítulo 2. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004.

Vidal, F. W. H. et al. Avaliação Comparativa de Granitos Ornamentais do Nordeste e Sudeste através das suas Características Tecnológicas. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 15 a 18 de novembro de 2007.

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DA PARAÍBA

Elbert Valdiviezo Viera¹

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – Universidade Federal de Campina Grande
Av. Aprígio Veloso, 882 – Cidade Universitária, CEP 58109-900, Campina Grande – PB.
E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

RESUMO

As rochas ornamentais são aqueles materiais de origem pétreo, produzidas pela extração na forma de blocos, e que na maioria dos casos serão serrados em placas, podendo ser granitos, mármore, gnaisse, ardósia e quartzitos. Essas substâncias destacam-se no mercado devido a dois fatores essenciais, que são: as suas tonalidades (clara ou escura), como também, a sua composição mineralógica (presença de grandes ou pequenas proporções de minerais) o que, em alguns casos, as tornam exóticas. Existem fatores decisivos na produção (lavra) das rochas ornamentais, podendo esses definir a inviabilidade de um empreendimento dessa substância. Como consequência desses, tem-se uma produção elevada da quantidade de estéril, que é o material descartável, no momento ou não, resultante das operações da lavra, responsável por desenvolver grande número de impactos ambientais.

A pesquisa de campo permitiu a elaboração de um diagnóstico geral, e foi realizado em 05 (cinco) pedreiras situadas em uma região de pegmatóides que abrangeu 06 municípios do Cariri Paraibano. Algumas medidas mitigadoras foram propostas através de um estudo obtido a partir de coleta de dados *in loco* e no laboratório foram determinadas as propriedades físico-mecânicas desses materiais, obtidas através de ensaios de caracterização tecnológica, resultando assim, na classificação desses resíduos em grupos com granulometria, características e finalidades muito bem diferenciadas.

O material (resíduos) citado neste trabalho foi dividido em três classes: A, B e C, sendo a classe A o material com dimensões que variam entre 0,1 a 10 cm. A classe B com dimensões variando entre 10 a 50 cm. A classe C compreende as placas e blocos com dimensões variando entre 50 a 150 cm. O material A pode ser utilizado como insumo inorgânico (corretivo de solos), como material para aterros de construção civil e obras geotécnicas, e como brita. O da classe B constitui uma grande fonte para produção de blocos utilizados principalmente na construção de sapatas, ou seja, para a edificação de obras, brita, e produção de paralelepípedos usados em calçamentos. O material da classe C pode ser utilizado na construção de muros de contenção para água, na edificação de barragens hídricas, como material para abastecer pequenas serrarias a fim de suprir a demanda local dessa substância.

Os resultados obtidos neste estudo podem, eventualmente, servir de subsídio para as empresas responsáveis pelas áreas observadas, como também, para outras empresas do setor, que tenham interesse e preocupação com a recuperação do meio ambiente, salientando a necessidade pela adoção de uma política de desenvolvimento sustentável, criando subsídios para vencer um dos grandes desafios dessa área, que é a harmonização entre a mineração e o meio ambiente, afetado por essa atividade.

Palavras-Chave: Aproveitamento de resíduos; rochas ornamentais; granitos.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de mineração, como a lavra e o processamento, são consideradas altamente agressoras ao meio ambiente, devido aos múltiplos impactos que são produzidos a partir delas. Entre as agressões, podem mencionar-se, a degradação da paisagem, do solo, do relevo, das águas, transtornos à sociedade no entorno das minas, e sérios problemas à saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento (Filho, *et al*, 1998; Silva *et al*, 2002).

O Estado da Paraíba apresenta grande potencial em recursos minerais, principalmente, rochas para usos ornamentais, em quantidade e variedade, destinadas em geral à exportação. Nos últimos anos, o consumo de rochas ornamentais tem crescido significativamente, entre outros fatores, devido à expansão da construção civil. Em termos econômicos, existem condições para se tornar um setor atrativo para o Estado, gerando renda e elevando a taxa de emprego em áreas deprimidas sócio e economicamente. Com a valorização e a diversificação de uso desses produtos, a exploração e a extração têm crescido notoriamente. Contudo, nota-se descaso com o cumprimento da legislação e normas ambientais. A extração procede-se de forma não adequada e as operações de lavra são efetuadas, muitas vezes, de modo rudimentar. Esses fatores contribuem para uma série de agressões ao meio ambiente, comprometendo diretamente a sustentabilidade da atividade na região. Essas áreas, do ponto de vista físico e biológico, são altamente agredidas, com formação de núcleos de desertificação.

Este estudo visa, em uma primeira etapa, selecionar uma pedreira cujas operações de lavra se encontrem em atividade e que apresente problemas com os estêreis provenientes dessa operação, para identificar os principais problemas e suas interações, caracterizando, identificando e analisando os impactos ambientais causados pela atividade, e propondo medidas para atenuar seus impactos. A partir dos dados coletados na área de estudo, será possível sugerir alternativas voltadas para a gestão sócio-ambiental dos estêreis produzidos na pedreira.

1.1 Classificação das Rochas Ornamentais

De acordo com Vidal (1999) “Em termos de classificação as rochas ornamentais e de revestimento dividem-se em duas categorias comerciais: granitos e mármore”. A primeira engloba a família das rochas silicáticas, incluindo os tipos ígneos: ácidos, intermediários e básicos, tanto de origem plutônica, quanto sub-vulcânicas a vulcânicas. Ainda associados ao primeiro tipo, têm-se as rochas metamórficas e as sedimentares, litologicamente representados comercialmente por quartzitos, arenitos, conglomerados e as rochas migmatíticas, intensamente dobradas, e cores variadas. A segunda família é representada por mármore tanto de origem sedimentar, quanto metamórfica. As rochas comercialmente designadas por mármore englobam as rochas carbonatadas, incluindo calcários, dolomíticos e seus correspondentes metamórficos (os mármore, propriamente ditos). Os calcários são rochas sedimentares compostos principalmente de calcita (carbonato de cálcio), enquanto os dolomíticos são rochas também sedimentares compostas, sobretudo por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio).

Os granitos são as rochas mais utilizadas no revestimento em função da grande variedade de tipos, composições, cores, caracteres estruturais e texturais, seguidas dos mármore, utilizados notadamente no acabamento de interiores. Através de características estéticas do material é estabelecida a qualificação comercial, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura e granulação. A variabilidade desses parâmetros não pode ser muito acentuada numa jazida, pois compromete a comercialização.

O principal atributo considerado para a qualificação de uma rocha ornamental é a cor. Em função desse padrão cromático característico, Filho *et al.* (1998) classificaram os materiais como clássicos, comuns ou excepcionais. Os mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, bem como granitos negros e vermelhos são os materiais clássicos. e não sofrem influência do modismo. Os mármore beges e acinzentados, além dos granitos acinzentados, rosados e amarronzados são os materiais comuns e possuem um alto emprego em obras de revestimento. Os materiais excepcionais são normalmente, utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, abrangendo os mármore azuis, violetas e verdes, além dos granitos azuis, amarelos e multicolores.

1.2 As Rochas Ornamentais no Estado da Paraíba

No Estado da Paraíba existe, pelo menos, uma dúzia de materiais conhecidos no mercado, com produção de blocos e beneficiados. Alguns desses materiais são conhecidos internacionalmente, como o Sucuru, o Japaraná Florença, o Green Space e o Preto São Marcos. Além desses, são também conhecidos o Caramelo e o Róseo Picuí, o Branco Floral, o Cinza Taperoá, o Amarelo Cabaça, o Branca Saara e o Rosa Goiti. Existem mais de 50 tipos de diferentes granitos cadastrados, associados a vários ambientes geológicos, favoráveis à formação de materiais nobres de grande aceitação no mercado, tais como: azuis, preto total, verdes tipo “reis” e Green Space, além dos chamados granitos fantasia, oriundo de rochas migmatíticas aflorantes na região compreendida entre os municípios de Santa Luzia e Itabaiana (DNPM, 2002).

As reservas (inclui granitos, gnaisses, quartzitos) da Paraíba encontram-se localizadas em 17 municípios, resultado que corresponde ao grande interesse dos investidores por novos negócios na atividade. Somente o município de Congo, detém mais de 90% das reservas, com os 10% das reservas restantes distribuídas nos outros 16 municípios.

A respeito do Mármore, o DNPM tem como registro a ordem de 21.400.000 m³, das quais 11.400.000 m³ são reservas medidas (CPRM/PB, 2002).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reconhecimento das Pedreiras

As visitas de reconhecimento foram realizadas a diversas pedreiras da Paraíba com o intuito de elaborar um diagnóstico geral e que possuam produção de rochas ornamentais. As visitas de campo foram em pedreiras localizadas nos municípios do Seridó e Picuí. Entre as empresas mencionam-se a Fuji Mármore e Granitos (02 pedreiras), Amaral Mineração (01 pedreira), e a Minete Mineração (02 pedreiras).

Dentre as pedreiras visitadas, em uma delas foi realizado um trabalho mais detalhado, e a mesma pertence à Minete Mineração Ltda., distante aproximadamente a 30 km da cidade de Picuí-PB. O acesso à área é efetuado a partir da cidade de Campina Grande pela BR-230 até a cidade de Soledade, a partir daí há uma estrada estadual pavimentada que liga essa cidade a Picuí.

2.2 Características da Pedreira

O principal produto extraído é um granito denominado comercialmente de “Granito Bordeaux” em função de sua coloração que varia entre o rosa claro e o rosa intenso. Considerando-se a tonalidade desse granito são classificados 05 (cinco) tons os quais são separados durante as operações de extração dos blocos.

A produção é de aproximadamente 150 m³ por mês de blocos com dimensões que variam de 3,20 m de comprimento, nos blocos de maior dimensão, e de até 2,00 m, nos blocos de menor dimensão. Também são produzidos blocos de 2,40 m de comprimento. Com relação a largura e altura, as dimensões variam de 2,80 m (máximo) até 1,80 m (mínimo). A produção pode alcançar 300 m³ por mês, dependendo da demanda principalmente do mercado externo, já que toda a produção de blocos é exportada para Itália. A pedreira opera desde 2002 e não há estimativa até quando estará em produção, fator que depende essencialmente do mercado consumidor.

O método de lavra empregado é o de matacões e a extração de blocos é realizada em bancadas altas. Os equipamentos usados são: escavadeira, trator, compressor para 08 martelos e em total 13 pessoas trabalham na extração dos blocos. Na tecnologia de corte é usado o fio diamantado, massa expansiva e cunha, também são usados explosivos junto com cordel

detonante. As brocas de perfuração são de 12 m de comprimento, colocadas em trechos de 0,80 m.

A recuperação de blocos é baixa, de apenas 25 %. Segundo Almeida *et al.* (1996), a perda total na operação de lavra de rochas ornamentais é significativa, em torno de 70 %, principalmente no desmonte e na preparação dos blocos. Na pedreira estudada, essas perdas representam 75 %, e por serem muito elevadas caracterizaria uma lavra predatória. Esse volume de material descartado representa um dos principais problemas ambientais dessa pedreira.

De acordo com Tavares (2001), os maciços rochosos no Brasil, são lavrados de forma não adequada, isto é, sem nenhum ou algum estudo tecnológico, resultando em grandes perdas na recuperação, gerando elevadas quantidades de material estéril, trazendo implicações no entorno do empreendimento.

2.3 Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica das rochas ornamentais depende normalmente da sua utilização final, sendo realizado por critérios notadamente comerciais. A maior parte dessas características é de grande importância para se avaliar a qualidade e resistência das rochas onde essas serão aplicadas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT é a entidade normatizadora dos parâmetros de qualificação de rochas ornamentais. Os ensaios considerados mais importantes são os seguintes:

Feições macroscópicas: rocha melanocrática com textura granular de granulação média e grosseira, tamanho médio dos cristais de aproximadamente 1,0 à 4,0 cm, cor predominante vermelha com presença de feldspatos alcalinos, quartzo, biotita e minerais máficos, sem foliação aparente.

Análise petrográfica – ABNT NBR 12768: O granito pegmatóide, denominado comercialmente de Granito Bordeaux tem como composição mineralógica: plagioclásio/microclínio 70%, quartzo 25%, biotita ≤5%. e a presença de outros minerais acessórios.

Resistência à compressão ABNT NBR 12767 - $122,6 \pm 10,24$ MPa.

Resistência à flexão ABNT NBR 12763 - $12,84 \pm 0,60$ MPa.

Desgaste Amsler – ABNT NBR 6481: Desgaste Amsler a 500 m – $0,290 \pm 0,075$ mm.

Desgaste Amsler a 1.000 m – $0,604 \pm 0,075$ mm.

Índices físicos – ABNT NBR 12766: Massa específica seca – $2,596 \pm 0,010$ kg.cm³

Massa específica saturada – $2,612 \pm 0,010$ kg.cm³

Porosidade – $0,826 \pm 0,074$ %

Absorção de água – $0,297 \pm 0,061$ %

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Impactos Ambientais

As principais alterações ambientais decorrentes da lavra são: alteração da paisagem, alteração do meio atmosférico, pelo aumento da quantidade de poeira em suspensão no ar, alteração dos processos geológicos produzidos pela erosão e alterações das feições geomorfológicas.

A atividade mineradora na área da pedreira alterou visivelmente o ecossistema, já que são realizados contínuos movimentos de material, os quais geram um grande volume de resíduos de diversos tamanhos (Figura 01), Esses resíduos não são tratados, nem existem planos para o seu possível aproveitamento.



Figura 01 – Fotografia mostrando detalhes de material estéril e resíduos gerados na operação da lavra e abandonados nas encostas e no acesso à pedreira de Picui - PB.



Figura 02 – Fotografia mostrando detalhes da operação da lavra na pedreira de Picui - PB.

A alteração morfológica da área onde se localiza a pedreira foi constatada pela variação dinâmica que sofre com a extração e corte dos blocos. A topografia original do terreno foi bastante alterada em função do capeamento superficial, infelizmente necessário, para que um volume econômico do maciço rochoso ficasse suficientemente exposto. O impacto dessas operações no meio ambiente foi também verificado sobre a vegetação típica da região a qual teve que ser removida expondo o solo aos processos de erosão (Figura 02).

3.2 Considerações sobre o Potencial de Recuperação da Pedreira

A partir dos dados coletados na área podem ser sugeridas algumas recomendações, que poderiam ser adotadas durante a extração e corte dos blocos.

É imprescindível a seleção de áreas adequadas para estocagem do estéril, já que a disposição inadequada deles causa instabilidade nas encostas, cria transtornos na circulação de veículos, pessoas e maquinarias. Esta situação, não desejável, gera um impacto negativo, direto, local e de alta intensidade.

É de extrema importância que seja efetuada uma caracterização tecnológica dos materiais desde a etapa de pesquisa mineral, lavra e beneficiamento dos blocos.

Por outro lado, a pesar de não ser totalmente controlável, a geração de estéril durante a lavra e corte de blocos, alguns cuidados devem ser tomados durante essas operações, a fim de diminuir o volume desse material. Esses cuidados serão considerados em cada uma das etapas desenvolvidas ao longo da extração de blocos. Essas etapas são: (1) escolha do maciço rochoso ou “matação” a ser desmontado; (2) escolha do sentido do corte; (3) desmontes primários; (4) esquadreamento de blocos; (5) furação; (6) “acunhamento”; e (7) cantaria.

Escolha do maciço ou “matação” a ser desmontado: Deve ser realizada previamente uma análise criteriosa do maciço de interesse, observando-se a presença de fraturas, inclusões e veios de quartzo ou qualquer outro tipo de intrusão, presença de oxidação (“ferrugem”), presença de heterogeneidades e qualquer característica que se manifeste deletéria ao futuro bloco que pode vir a ser extraído. Atenção especial deve ser dada às questões dimensionais, já que quando mais blocos pudessem ser extraídos do corpo rochoso, mais econômica e produtiva torna-se a extração dos blocos.

Escolha do sentido de corte: Essa etapa é muito importante e é normalmente realizada pelo “riscador” com auxílio de régua, trena, esquadro e prumo. Essa tarefa deve ser efetuada por um operário

experiente para que possa delimitar e marcar as medidas bem como escolher adequadamente as faces que serão separadas e desmontadas.

Desmontes primários: A finalidade é dividir o corpo em blocos menores. Apesar de ser simples, exige de cuidados, pois é recomendado o uso de explosivos de baixa velocidade para evitar o fraturamento da rocha ou quebra-la desnecessariamente.

Esquadreamento: Nessa etapa deve ser efetuada indiscutivelmente uma nova avaliação de possibilidades sobre o aproveitamento dos blocos. Nela são usados régua, trena, esquadro e prumo. Essa tarefa deve ser realizada por um experiente “riscador”. Paralelamente deve ser planejada uma área para deposição do estéril e com isso prevenir problemas durante o transporte dos blocos.

Furação: Atenção especial à profundidade do furo, que deve chegar a cerca de 15 cm do piso do bloco. Acima dessa distância pode resultar na quebra e prejudicar diretamente o bloco.

Cantaria: Essa etapa necessária para o acabamento final do bloco, por ser uma exigência do mercado, também contribui para a geração e acumulação de estéril na pedreira.

3.2 Proposição de Medidas Mitigadoras

Além das considerações relatadas com relação à diminuição do volume de estéril na operação de extração e corte dos blocos, algumas medidas devem ser tomadas para alcançar melhores resultados. Essas medidas são:

1. Orientação junto aos operários de práticas corretas de exploração de pedreiras;
2. Orientação junto ao empresário de métodos de recuperação de áreas degradadas pela pedreira;
3. Orientação para um uso mais racional da matéria-prima local;
4. Desenvolvimento de estudos para disposição do resíduo de acordo com a legislação ambiental vigente;
5. Desenvolvimento de estudos para o aproveitamento do material estéril gerados da lavra e do rejeito no beneficiamento.

Essa última proposta é de especial importância já que o aproveitamento do resíduo contribuiria para diminuir o impacto ambiental do volume de material acumulado na pedreira. Ressalta-se que este é um dos principais, senão o principal, problema observado na pedreira. A quantidade de estéril gerado por mês é em torno de 450 m³. Quando foi realizado o estudo, o volume total alcançou, aproximadamente, 18.000 m³ ou 50.000 toneladas. Uma estimativa de todos os frentes de lavra o total de resíduos foi de 110.000 m³ ou aproximadamente 300.000 toneladas.

O resíduo produzido pela pedreira foi classificado em função do tamanho em 03 (três) tipos que são:

Classe A: composto por areia e grãos de pequenas dimensões, na faixa de 0,1 a 10 cm;

Classe B: constituído por fragmentos com forma regular ou irregular, com dimensões de 10 a 50 cm; e

Classe C: composto pelos blocos com forma regular ou irregular, com dimensões de 50 a 150 cm.

Esses materiais foram produzidos, principalmente, pela desagregação mecânica da rocha e pelo desmonte e corte dos blocos. Para o aproveitamento desses resíduos têm sido propostas as seguintes alternativas:

Agregados para construção civil: Recomenda-se usar a fração de material pertencente à Classe A, na faixa granulométrica entre 0,1 e 10 cm. Esse material poderá ser britado e/ou peneirado para produzir agregados de diferentes granulometrias, conforme as normas técnicas recomendadas pela ABNT.

Placas e outros, para pisos e revestimento de muros: Para confecção de placas, lajotas, bloquinhos, lajinhas e lajotinhas, com tamanhos diferenciados aos padrões comerciais. O deslocamento dos blocos seria realizado através de talhadeiras bem como empregando-se máquinas de corte providas de arranjos de multidiscos diamantados. Os produtos poderão ser destinados a pisos para edifícios e residências, e para revestimentos em muros externos. A classe C desse material, na faixa entre 50 e 150 cm, poderá ser usada para essa finalidade. Esse material seria aproveitado por pequenas serrarias para suprir o mercado local.

Indústria cerâmica: Os resíduos denominados de classe A ou da classe B poderão ser cominuídos (britado e moído) para liberação dos minerais e em seguida separados através de concentração gravimétrica e/ou separação magnética, visando a concentração do feldspato dos outros minerais como quartzo e biotita.

Granitos artificiais: Os resíduos denominados da classe A e B poderão vir a ser moídos em granulometria adequada para fabricação de granitos artificiais. Essa tecnologia, apesar de recente, é muito promissora, especialmente, para atender a demanda provinda do mercado interno e externo.

Agrominerais: Os resíduos precisam ser submetidos previamente a uma separação dos minerais, tal como o feldspato, que é muito rico no elemento potássio, nutriente indispensável para as plantas. Os resíduos denominados de classe A ou da classe B poderão ser cominuídos para liberação dos minerais e em seguida separados através de concentração gravimétrica e/ou separação magnética, visando a separação do feldspato dos outros minerais como quartzo e biotita.

Muros e barragens de contenção: Os blocos de maiores dimensões (classe C) podem ser usados na construção de muros de contenção em obras civis, assim como em barragens de pequeno porte, e em edificações para dar estabilidade à estrutura.

Mosaicos: Para fins decorativos de muros e pisos em residências e edifícios, confeccionando figuras compostas empregando a técnica de mosaicos.

Objetos e peças decorativas: Os resíduos descartados na lavra, especialmente os blocos, podem ser submetidos ao deslocamento e corte em máquinas multidisco, e com eles confeccionar utensílios e peças, como pias, tampos de mesa, suportes, bancadas, porta objetos, e outros, destinados a residências.

Essas alternativas, no entanto, para implantação precisam de prévia avaliação tecnológica do resíduo, a partir de estudos de caracterização física, mineralógica, química, propriedades mecânicas e ensaios de concentração, para se determinar as adequadas aplicações do resíduo gerado na pedreira.

4. CONCLUSÕES

As atividades de lavra, especialmente, a extração de rochas ornamentais, acarretam impactos ao meio ambiente, em diferentes níveis e intensidades. Entretanto, seus impactos ambientais poderão ser minimizados e controlados se medidas de prevenção fossem adotadas. Caso isso não seja possível, ainda têm-se medidas remediadoras para restabelecer o meio ambiente original da pedreira. Em termos de custo, as medidas preventivas são menos onerosas que as medidas remediadoras.

Nesse tipo de atividade, se recomenda a adoção de um programa de prevenção a fim de que cuidados sejam tomados, através do planejamento pré-operacional da lavra, envolvendo métodos de avaliação e pesquisa mineral do maciço rochoso, caracterização tecnológica com ênfase na previsão dos impactos ambientais.

Na pedreira estudada, recomenda-se a adoção de um programa de remediação para o meio ambiente, especialmente, no referente ao aproveitamento do resíduo gerado na lavra. Com isso, possibilita-se que

as atividades de lavra de rochas ornamentais, a preservação do meio ambiente, e o desenvolvimento sustentável podem coexistir e interagir simultaneamente.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Aarão de Andrade Lima pelo convite realizado para participação do autor deste trabalho no Projeto intitulado “Aplicação de Tecnologia para o Aproveitamento Racional de Rochas Ornamentais na Paraíba via Projeto Cooperativo envolvendo UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) e UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)”.

REFERÊNCIAS

Almeida, S.L.M., Albuquerque, G.A.S. e Campos, A.R. (1996). Relatório de viagem a Santo Antônio de Pádua-RJ. RV. 18/96. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, RJ.

CPRM (2002). Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba. Boletim organizado por Edilton José dos Santos, Cícero Alves Ferreira, e José Maria da Silva Júnior, Recife-PE.

DNPM (2002). Anuário Mineral Brasileiro,

Filho, J.B. e Silva, A.T. (1998). Estudo de caso na exploração de granito ornamental e seu impacto ambiental (Pedreira de Esculápio-Campo Grande-RJ). Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, v.21, 27-38.

Silva, R.E.C. e Margueron, C. (2002). Estudo ambiental de uma pedreira de rochas ornamentais no município de Santo Antônio de Pádua-Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, v.25, 151-170.

Tavares, J.F. (2001). Lavra de Rocha Ornamental em Meta Conglomerado e Pegmatito Homogêneo e Pesquisa no Pegmatito do Alto Boqueirão de Parelhas-RN. Relatório de Estágio. Curso de Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande-PB, 40p.

Vidal, F.W.H. (1999). Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. Série Tecnologia Mineral n° 74, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ, 1-30.

GRANITO PEGMAÍTICO DA PEDREIRA SACO DA SERRA – PICUI PB POTENCIALIDADES DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO DOS REJEITOS COMO AGENTE MITIGADOR DE IMPACTOS AMBIENTAS

Francisco de Assis Souza, Patrício Rafael H. S. Ferreira. Antônio de Pádua C. Lima Sobrinho

Curso Técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba - IFPB
Acesso Rodovia PB 151, S/N, Bairro Cenecista, Picuí, PB, 58187-000. e-mail: franciscosouza.ifpb@gmail.com,
sobrinhopicui@hotmail.com

RESUMO

A extração de rochas ornamentais gera freqüentemente toneladas de rejeitos, causando grandes impactos ambientais na área de influência da jazida, tais como assoreamento e contaminação de rios, riachos e açudes. A pedreira Saco da Serra explora um granito pegmatítico derivado da fusão parcial da biotita-xisto do Grupo Seridó em uma frente de lavra em degraus sucessivos, na base, meia encosta e topo de uma serra anexa à Serra do Pedro, produzindo blocos para fins ornamentais. A extração desordenada associada ao grande volume de xenólitos de xisto englobados pelo granito pegmatítico gerou blocos fora dos padrões determinados pela indústria de beneficiamento, gerando um imenso volume de rejeitos, amontoados sem nenhum critério, gerando um impacto ambiental paisagístico de grandes proporções. A geração de rejeitos finos provoca o assoreamento da bacia do açude à jusante no vale adjacente à pedreira, já em estágio bastante avançado. A vegetação local também sofreu degradação ambiental acentuada relativa ao desmatamento para a implantação da jazida e do descarte do rejeito, sem que houvesse um planejamento prévio de construção de canteiro de mudas nativas para reflorestamento, concomitante com a progressão da lavra. Nesse contexto surgiu a necessidade da elaboração de um projeto objetivando a viabilidade do aproveitamento econômico dos rejeitos na construção civil, sobretudo em obras de pavimentação urbana, brita para concreto armado pedra rachão para sapatas de casas, aproveitamento dos finos na indústria cerâmica e de argamassa. Em paralelo planejamos a recuperação ambiental pelo reflorestamento da área desmatada e do desassoreamento do açude nas proximidades. Tais medidas deverão propiciar melhorias significativas ao meio ambiente local, além da geração de mão-de-obra no aproveitamento dos resíduos gerados pela mineração.

Palavras chave: Pedreira, Degradação, Rejeito, Rochas ornamentais, Pavimentação

1. INTRODUÇÃO

O município de Picuí, onde está localizada a Pedreira Saco da Serra, objeto do presente estudo de pesquisa, fica localizado na parte norte do estado da Paraíba, mais precisamente na microrregião Seridó Oriental Paraibano. Dista aproximadamente 200 km da capital João Pessoa, limitando-se com os municípios de Carnaúba dos Dantas, e Campo redondo, a oeste; Frei Martinho, a noroeste; a norte os seus limites fazem fronteiras com o estado do Rio Grande do Norte.

Por estar localizada em região com características geológicas de grande potencial mineral, Picuí sempre teve a mineração como uma das suas principais atividades. A forma de extração desses minerais é, na maioria das vezes, feita de forma rudimentar, através dos garimpos, sendo a única opção para os mineradores, em decorrência da falta de capital para investimentos em tecnologia de lavra e segurança individual dos mesmos.

Outro grande favorecimento na área mineral deste município são as rochas ornamentais - os granitos a pegmatitos, formando inúmeros maciços rochosos intrusivos nos micaxistos da formação Seridó. Com a demanda crescente do produto final no mercado nacional e mundial, Picuí passou a sediar empresas

especializadas na exploração a céu aberto de rochas ornamentais, dentre elas a Pedreira Saco da Serra, objeto do presente trabalho.

A cadeia produtiva de rochas ornamentais é composta pelas pedreiras, que são frentes de lavra a céu aberto onde ocorre o desmonte da rocha e pelas serrarias, onde fica o maquinário que faz o desdobramento, transformando a rocha bruta em placas de revestimento, móveis, utensílios, etc. No caso de Picuí só estão presentes as pedreiras, que fornecem a matéria prima para ser transformada no produto final em grandes centros, que constituem o grande mercado consumidor.

Essa atividade primária, mesmo não agregando valor ao produto, sem dúvida trouxe grandes benefícios para o desenvolvimento local, com o surgimento de empregos diretos e indiretos, elevação do consumo, dos impostos, entre outros. Mas a lavra de rochas ornamentais, se não feita de maneira planejada, e sem levar em consideração fatores ambientais, podem causar grandes danos a determinada região. Na pedreira “saco da serra”, essa realidade não é diferente: alteração da paisagem, da qualidade do ar, danos aos recursos hídricos superficiais, alterações geomorfológicas, destruição da fauna e flora, são visíveis em toda área do entorno das jazidas.

O estudo dos principais impactos ambientais e a elaboração de um plano para um possível reaproveitamento econômico dos rejeitos oriundos da extração de rochas ornamentais da Pedreira Saco da Serra, iniciou-se com uma visita à frente de lavra. A identificação dos problemas auxiliará na adoção de medidas mitigadoras, como a apresentação de alternativas para o reaproveitamento dos rejeitos como matéria prima na construção civil e pavimentação urbana, tais como “pedra rachão”, brita, paralelepípedos e meio-fios, gerando uma atividade paralela à extração para fins ornamentais, além de minorar o processo de degradação ambiental decorrente da atividade.

2. A PEDREIRA SACO DA SERRA

A Pedreira Saco da Serra situa-se na zona rural do município de Picuí-PB, região da Serra do Pedro (Figura 1), com acesso pela rodovia PB-151, que liga a cidade de Picuí a Carnaúba dos Dantas-RN. No sítio Ermo, ainda no estado da Paraíba, toma-se uma estrada vicinal em bom estado de conservação até a referida pedreira. O granito pegmatítico é lavrado a céu aberto, através de bancadas em degraus sucessivos, na base, meia encosta e topo da serra (Figura 2). O corte é feito pela combinação de massa expansiva com fio diamantado (Figura 3) gerando blocos com volumes normalmente entre 5m³ e 8m³, podendo alcançar até 10m³.

O contato entre o plúton granítico, e o granada biotita-xisto do Grupo Seridó de Almeida (1967), pode ser observado no vale do riacho nas proximidades da pedreira. A homogeneidade cromática e textural evidenciam uma rocha isotrópica em macroescala, podendo-se obter um padrão único para revestimento, com boa aceitação pelo mercado consumidor. Podemos afirmar categoricamente que a gênese do maciço se deu por intrusão na base da crosta, em processo de ultrametamorfismo e elevado estágio de anatexia, quebrada somente pela ocorrência de enclaves bem preservados e estirados de xisto imersos na massa granítica (Figura 4). O tombamento dos blocos é feito com cabos de aço e tratores até o pátio de estoque para serem finalmente carregados para os caminhões transportadores através do pau de carga (Figura 5).

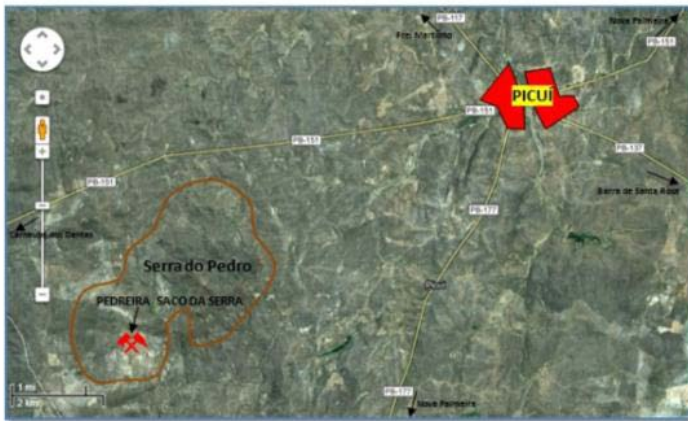


Figura 1 - Localização da Pedreira Saco da Serra e posicionamento em relação à cidade de Picuí (imagem do Google Earth com modificações)



Figura 2 - Pedreira Saco da Serra: Vista panorâmica (foto da esquerda) e detalhe da frente de lavra em degraus sucessivos (foto da esquerda).



Figura 3 - Pedreira Saco da Serra: Frente de lavra mostrando o corte de blocos combinando massa expansiva e fio diamantado.



Figura 4 - Pedreira Saco da Serra: enclaves de granada biotita-xisto imersos em massa grânica



Figura 5 - Pedreira Saco da Serra: cabos de aço para tombamento dos blocos (foto da esquerda) e pau de carga (foto da direita)

3. ENTENDIMENTO DE PRODUÇÃO LIMPA

No início dos anos sessenta, quando foram reveladas as primeiras fotos do planeta terra, através do projeto espacial soviético conhecido como Vostok, as pessoas começaram a observar que o planeta, afinal, era um lugar limitado, um ambiente finito, onde todos os seus habitantes sofreriam com a sua devastação gradativa (Da Matta, 2003). A partir de então, o homem começou a dar importância ao processo de conscientização ambiental como forma de melhoria da qualidade de vida. As questões ambientais, como citou ou autor, nos últimos anos passaram a ser analisadas de uma forma mais compromissada, em decorrência de conclusões baseadas em pesquisas, que os recursos naturais do nosso planeta são finitos, e o não aproveitamento dos mesmos de uma forma racional e equilibrada, tendem a prejudicar o desenvolvimento de gerações contemporâneas, e ainda mais as futuras, o que podem causar grandes problemas para os habitantes da Terra.

A visão ambiental inspirou nossa pesquisa, pelo fato de nos preocuparmos com as conseqüências ruins que trazem a lavra desordenada de rochas ornamentais. Na Pedreira Saco da Serra, analisaremos a

possibilidade e viabilidade do reaproveitamento dos rejeitos grossos gerados na lavra, para confecção de materiais utilizados na construção civil e pavimentação urbana: os paralelepípedos, e dessa forma limpar áreas que acumulam resíduos e com isso proporcionar o aproveitamento integral dos recursos existentes na pedreira. Concomitantemente com a retirada dos rejeitos, pode ser feito desassoreamento do açude à jusante e o reflorestamento de toda área desmatada usando mudas nativas nos locais afetados. Essas ações seriam o primeiro passo para uma produção limpa e certamente rentável.

4. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS NA PEDREIRA SACO DA SERRA

4.1 Abordagem do Problema

A preocupação com o planejamento ambiental objetivando o uso racional dos recursos naturais não é um assunto novo, no entanto, esta mesma preocupação cresce na progressão em que os problemas se intensificam com a crescente demanda dos bens minerais.

A mineração, evidentemente, causa um impacto ambiental considerável, alterando intensamente a área minerada e todo o entorno da jazida, onde são depositados os rejeitos. Além do mais, quando temos a presença de substâncias químicas nocivas (por exemplo, sulfetos), pode significar um problema adicional. Quando esses rejeitos ficam muito volumosos, tornam-se instáveis e sujeitos a escorregamentos localizados. Em períodos de chuvas, são deslizados para áreas mais baixas continuamente, e em muitos casos, para os cursos dos rios, provocando gradativamente assoreamentos calamitosos.

Na Pedreira Saco da Serra, a situação assemelha-se às demais jazidas minerais e de rochas ornamentais. O rejeito da mineração está sendo descartado em áreas adjacentes gerando um imenso volume de blocos amontoados sem nenhum critério (Figura 6), o desmatamento é visível, ocorrendo a supressão da vegetação nativa, gerando um passivo ambiental de grandes proporções, sem nenhum cuidado com a conservação do solo nem com a fauna silvestre. Como não houve um planejamento prévio de seleção de áreas para deposição dos rejeitos, do solo proveniente do decapeamento e nem construção de um canteiro de mudas para reflorestamento das áreas desmatadas, constata-se que os finos estão sendo carregados pelas enxurradas encosta abaixo, provocando o assoreamento de um pequeno açude a jusante (Figura 7), além da contaminação potencial das águas utilizadas para o consumo humano e animal. Um problema adicional é que a barragem que abastece o município de Picuí recebe água da bacia hidrográfica regional, juntamente com os sólidos em suspensão provenientes de garimpos e pedreiras.



Figura 6 - Pedreira Saco da Serra: empilhamento de rejeitos da lavra de rochas ornamentais.



Figura 6 - Pedreira Saco da Serra: empilhamento de rejeitos finos (foto da esquerda) e bacia do açude parcialmente assoreada com plantação de capim (foto da direita).

4.2 Aproveitamento adequado do Rejeito

A extração desordenada de rochas ornamentais na Pedreira Saco da Serra tem gerado grandes volumes de blocos fora dos padrões exigidos para o beneficiamento, ou seja, para o desdobramento em chapas de revestimento. Nesse contexto, surge como alternativa o aproveitamento econômico destes rejeitos, o desdobramento em britas, pedra rachão, paralelepípedos e meios-fios, que podem ser empregados construção civil e pavimentação de ruas, como também na fabricação de vários utensílios e móveis, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O meio ambiente é o bem mais precioso para a manutenção da humanidade, bem como de todos os seres vivos, para tanto as intervenções antrópicas devem ser feitas com responsabilidade, respeitando a legislação vigente. Diante do exposto, fica evidente que a exploração de rochas ornamentais tem uma grande importância econômica e social para o município de Picuí, porém acarreta grandes impactos ambientais que precisam urgentemente de soluções. Este trabalho permitiu identificar os principais problemas ambientais associados à exploração de rochas ornamentais na Pedreira Saco da Serra, tais como desmatamentos, descarte de rejeitos em locais impróprios, assoreamento de açude, e consequentemente indicar alternativas mitigadoras simples e que agreguem trabalho e renda para o homem que lida com a lavra de bens minerais.

REFERENCIAS

Almeida, F.F.M. de. 1967. Evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro: DGM, 36 p.

Da Matta, P.M. 2003. Indústria de Rochas Ornamentais Rejeitos x Produção Limpa. DNPM, Salvador 2003.

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA LAVRA DA PEDRA MORISCA DA REGIÃO DE CASTELO DO PIAUÍ NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

Silveira, Leonardo¹; Melo, Marcus²; Luz, Adão³

¹ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil
Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 05, Cachoeiro de Itapemirim, ES, 29300-970. E-mail: leolysil@cetem.gov.br

² Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – Teresina-PI, Brasil
Rua João Cabral, 2231, Teresina, PI, 64002-150. E-mail: mmelo@cetem.gov.br

³ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – Rio de Janeiro-RJ, Brasil
Avenida Pedro Calmon, 900, Rio de Janeiro, RJ, 21941-908. E-mail: adaobluz@cetem.gov.br

RESUMO

A Pedra Morisca representa uma fonte de economia em alguns municípios do Estado do Piauí, em especial para os de Juazeiro e Castelo do Piauí. Considerada uma rocha de revestimento, sua produção por ser principalmente artesanal, e em alguns casos garimpeira, tornou-se desordenada, gerando um impacto ambiental notório na região. A maioria das pedreiras de Pedra Morisca apresenta índice de aproveitamento de, no máximo, 30%, cuja ocorrência litológica principal é um siltito (3% de areia, 25% de argila e 72% de silte). Frente à grande quantidade de resíduo fino produzido, a possibilidade da aplicação deste rejeito para fins de construção civil pode auxiliar a região sob dois aspectos principais: a diminuição de um passivo ambiental criado pela mineração e a utilização deste rejeito para produzir tijolos ecológicos, gerando um fim mais nobre para este material. Foram coletadas amostras do rejeito e do pó da serragem do beneficiamento da rocha, em seguida foi realizada sua caracterização e ensaios tecnológicos a fim de avaliar a possibilidade de adição dos resíduos como matéria-prima para produção de tijolos ecológicos. Foram definidos 3 traços para a confecção dos tijolos, a saber: traço 1 (cimento - 20% + pó de rocha - 80%); traço 2 (cimento - 15% + pó de rocha - 65% + areia - 20%); traço 3 (cimento - 10% + pó de rocha - 40% + areia - 50%). Para produção de cinco tijolos, foram utilizados 7,5 kg de material na proporção do traço previamente definido, sendo adicionados, em média, 2,5 litros de água. Os ensaios realizados foram limites de liquidez e de plasticidade, com vista a definir o índice de plasticidade, análise granulométrica para a matéria prima e resistência à flexão de 3 pontos para os tijolos. Os resultados obtidos demonstram que é possível a utilização desse resíduo na preparação de tijolos para a construção de pequenas edificações.

Palavras-chave: pedra morisca; beneficiamento; tijolos.

1. INTRODUÇÃO

O município de Castelo do Piauí está situado no centro-norte do Estado do Piauí, nordeste do Brasil. A economia da cidade gira em torno, principalmente, do beneficiamento da Pedra Morisca. Geologicamente, com sua área de 2.064 km² de superfície, fica situado na porção centro-oriental da entidade geológica conhecida como Bacia Sedimentar do Parnaíba que possui mais de 600.000 km² de área, abrangendo quase 80% do território piauiense, o Estado do Maranhão e parte do Tocantins.

A Pedra Morisca faz parte da Formação Longá. A primeira referência ao nome Longá foi feita por Albuquerque e Dequech (1946), que o usaram para designar a seqüência de folhelhos cinza-escuros a pretos, fossilíferos, existentes no Vale do Rio Longá, colocando-a no Devoniano. Campbell (1949), colocou esses sedimentos no Carbonífero, cabendo a Blankennagel (1952), colocá-los na sua posição estratigráfica correta, isto é, acima dos arenitos Cabeças e abaixo dos sedimentos do Carbonífero. É constituída de folhelhos e siltitos de cores escuras, pretos, roxos, cinza-avermelhado e castanho. São freqüentes as intercalações de leitos de arenito fino, tanto na base como no topo da formação.

Os municípios de Juazeiro e Castelo do Piauí, em especial este segundo, são as únicas regiões na parte norte do Estado do Piauí que apresentam ocorrências de rochas de revestimento com viabilidade econômica. A Pedra Morisca, considerada rocha de revestimento, cuja ocorrência litológica principal é um siltito, é fonte econômica da região há muitos anos. Sua produção, por ser principalmente artesanal, e em alguns casos garimpeira, tornou-se desordenada, gerando um impacto ambiental notório na região, visto que a maioria das pedreiras de Pedra Morisca apresenta índice de aproveitamento de, no máximo, 30%.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é testar, de modo preliminar, a viabilidade de utilização de tijolos confeccionados com o resíduo da mineração da Pedra Morisca na construção civil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A lavra da Pedra Morisca é realizada de maneira rudimentar, feitas por ponteiras e marretas (Figura 1) e os rejeitos desta mineração ocorrem geralmente na forma de pó de rocha provenientes do corte e do polimento das peças. Com o uso constante de água no corte da rocha, forma-se uma grande quantidade de lama, a qual é parcialmente depositada em tanques de sedimentação, sendo que a maior parte desses resíduos é depositada inadequadamente sobre áreas de vegetação.



Figura 1 – Processo manual de retirada dos ladrilhos de Pedra Morisca.

Foram coletadas amostras do rejeito e do pó oriundo da mineração da rocha em questão, em seguida foi realizada sua caracterização e ensaios tecnológicos a fim de avaliar a possibilidade de adição deste resíduo como matéria-prima para produção de tijolos ecológicos. Os ensaios realizados com o pó de rocha foram limites de liquidez (ABNT-NBR 6457/86) e de plasticidade (ABNT-NBR 7180/86), definindo assim o índice de plasticidade, bem como a análise granulométrica conjunta (ABNT – NBR 7181/86). Os tijolos confeccionados foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão (ABNT – NBR 15845/2010).

Para confecção dos tijolos ecológicos foi utilizado uma prensa manual, de propriedade da Associação Ambiental Monte Líbano (AAMOL), localizada na cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES. Foram definidos três traços utilizando como matéria-prima o pó oriundo do rejeito da lavra (Tabela 1). Para produção de cinco tijolos de cada traço, foram utilizados 7,5 kg de material na proporção supracitada, sendo adicionados, em média, 2,5 litros de água. Tal procedimento pode ser visualizado a seguir (Figura 2):



Figura 2 – Procedimento adotado para a preparação dos tijolos: (A) pesagem das porções constituintes; (B) homogeneização; (C) prensagem; (D) cura dos corpos de prova.

Tabela 1 – Definição dos três traços utilizados na pesquisa.

Traço	Pó de Rocha (%)	Cimento (%)	Areia (%)
1	80	20	-
2	65	15	20
3	40	10	50

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de granulometria conjunta revelou que o sedimento oriundo do processamento industrial da Pedra Morisca se caracteriza por ser essencialmente argiloso, apresentando as seguintes faixas:

Areia fina – 3%; Silte – 75%; Argila – 22%, que, de acordo com o Triângulo de Shepard (*apud* Suguio, 1999) é classificado como um solo siltico argiloso (Figura 3). Tal composição, a princípio, inviabiliza seu uso para algumas aplicações, como por exemplo, para barreiras selantes de solos compactados em aterros sanitários (*liners*), reforço de leito e sub-leito de rodovias, filtros em geral. Tais limitações de devem, principalmente ao fato de que solos siltosos apresentam difícil compactação para serem usados em condições de carregamento, bem como apresentam coeficiente de permeabilidade ruim tanto para filtros em geral quanto para barreiras hidráulicas. Porém, o aspecto siltoso do sedimento não é limitante quando se trata de sua aplicação em tijolos. Um aspecto que tem importância no tocante a utilização de agregado fino para confecção de tijolos é a sua trabalhabilidade, o que é função da porcentagem de finos (silte + argila) presente na mesma, além de possuir boa plasticidade. A amostra estudada neste trabalho apresentou índice de plasticidade de 15,6%, que segundo Atterberg (1911) *apud* Caputo (1978) é considerado um sedimento altamente plástico (Figura 4). Tal aspecto corrobora a utilização deste material para confecção de tijolo visto que tal IP permite inferir que o processo de moldagem e extrusão dos corpos de prova será realizado de modo correto.

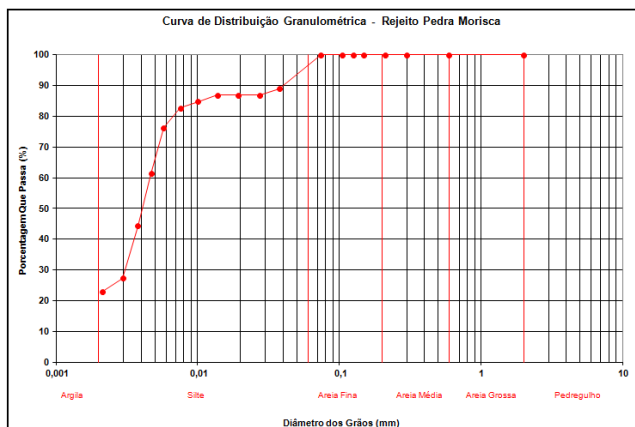


Figura 3 - Curva granulométrica do rejeito da Pedra Morisca.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Amostra Úmida + Tara (g)	22,36	21,63	17,95	17,90	20,62
Amostra Seca + Tara (g)	19,06	18,41	15,84	15,60	17,30
Água (g)	3,30	3,22	2,11	2,30	3,32
Solo (g)	8,92	8,69	5,36	5,45	7,29
Tara (g)	10,14	9,72	10,48	10,15	10,01
Umidade %	37,0	37,1	39,4	42,2	45,5
Número de Golpes	63	33	25	13	5

LIMITE DE PLASTICIDADE					RESULTADOS	
Cápsula N°	1	2	3	4	5	
S + A + T (g)	11,97	11,96	12,63	12,50	12,59	LIMITE DE LIQUIDEZ
S + T (g)	11,57	11,63	12,16	12,08	12,10	LIMITE DE PLASTICIDADE
Água (g)	0,40	0,33	0,47	0,42	0,49	LIMITE DE PLASTICIDADE
Solo (g)	1,52	1,54	1,98	1,77	2,07	ÍNDICE DE PLASTICIDADE
Tara (g)	10,05	10,09	10,18	10,31	10,03	
Umidade %	26,3	21,4	23,7	23,7	23,7	39,4
						23,8
						15,6

Figura 4 – Determinação do Índice de Plasticidade (IP).

O ensaio de resistência à flexão a três pontos foi realizado no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) Campus de Cachoeiro de Itapemirim-ES (Figura 5) e os resultados são apresentados na Tabela 2, seguindo dos respectivos gráficos Tensão x Tempo (Figuras 6, 7, e 8).



Figura 5 – Equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à flexão de três pontos.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de resistência à flexão nos três traços utilizados na pesquisa.

Traço	Valor Médio (MPa)	Desvio Padrão	Valor Máximo (MPa)
1	0,70	0,67	1,44
2	0,87	0,42	1,48
3	1,03	0,12	1,19

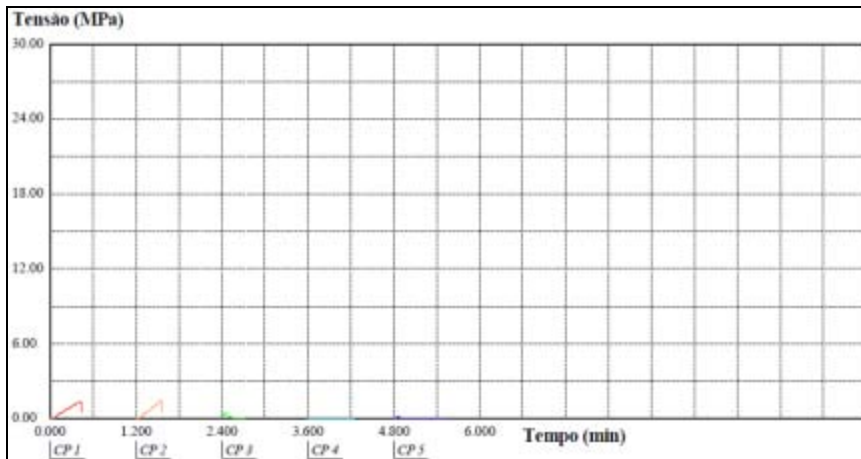


Figura 6 – Resultado do ensaio de resistência à flexão para o traço 1.

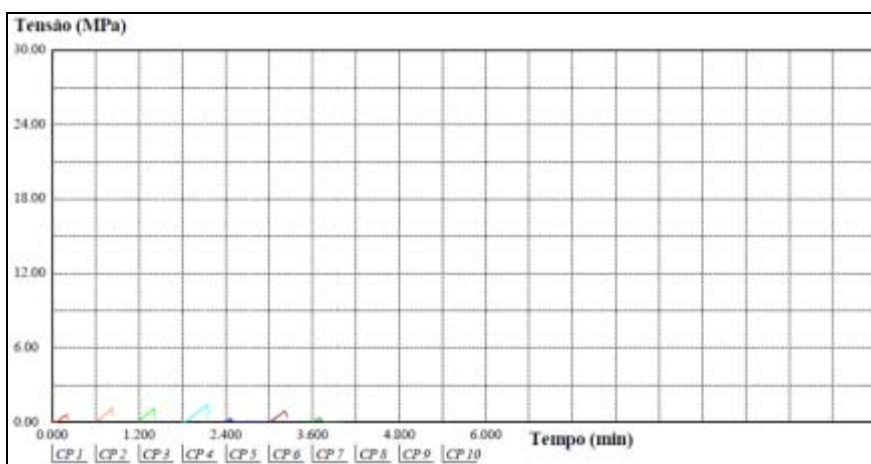


Figura 7 – Resultado do ensaio de resistência à flexão para o traço 2.

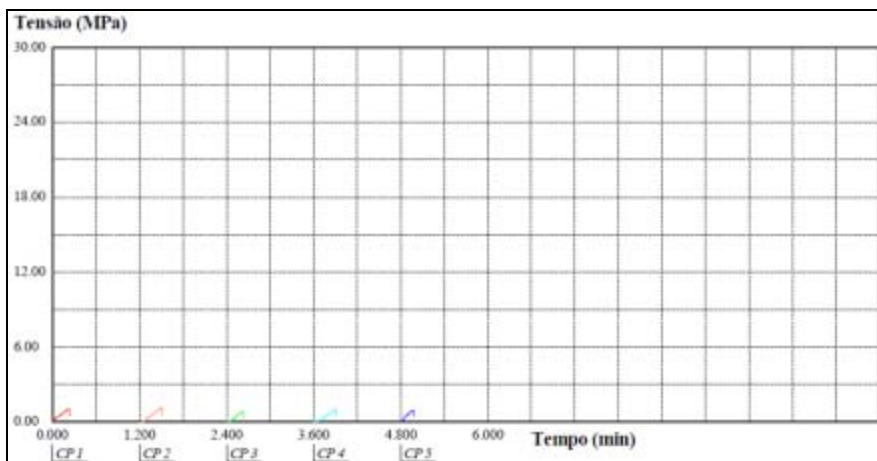


Figura 8 – Resultado do ensaio de resistência à flexão para o traço 3.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão é possível notar que todos os corpos de prova apresentaram valores relativamente baixos. Alvarenga *et al.* (2010), utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais na confecção de tijolos, concluíram que quantidades inferiores a 15% de cimento diminuem consideravelmente os valores de resistência à flexão. Porém, este trabalho mostra que, para as misturas estudadas, a relação entre cimento e areia é mais importante do que a quantidade de cimento propriamente dita, visto que os tijolos com traços 1 e 2 apresentaram valores médios de resistência à flexão maiores do que os com o traço 3, que não tem areia na sua composição.

Porém, face de outras características tecnológicas existente no resíduo estudado nesta pesquisa, principalmente a alta plasticidade, é pertinente a confecção de tijolos com traços que apresentem valores maiores de cimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o que foi realizado nas amostras estudadas é possível concluir, mesmo que de modo preliminar, que o resíduo da Pedra Morisca tem potencial para utilização como parte constituinte de tijolos de solo-cimento. Dentre as propriedades mais importantes que o solo apresenta é sua alta plasticidade merece ser destacada, visto que esta é suma importância para a trabalhabilidade e extrusão dos tijolos. Os valores de resistência à flexão podem aumentar com a variação entre os elementos constituintes da mistura, principalmente na adição de cimento e areia.

Para trabalhos futuros seria interessante a realização de um grupo de ensaios que pudesse melhor qualificar este sedimento e assim aumentar o conhecimento deste material. Ensaios térmicos (ATD), mineralógicos (DRX), químicos e tecnológicos (cor, índices físicos, retração linear, compressão uniaxial) podem auxiliar nesta caracterização.

Por se tratar de uma região carente de infraestrutura, onde boa parte das edificações é construída de modo rudimentar (estruque), a possibilidade de utilizar tijolos confeccionados com matéria prima provenientes do rejeito da mineração de pedra morisca é uma alternativa válida, merecendo assim maior aprofundamento na pesquisa deste material.

6. AGRADECIMENTO

Os autores deste trabalho agradecem a Associação Ambiental Monte Líbado (AAMOL) pelo empréstimo da prensa manual e auxílio na confecção dos tijolos e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) pela realização dos ensaios de flexão à três pontos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, O. R. & DEQUECH, V. Contribuição para a geologia do meio-norte, especialmente Piauí e Maranhão, Brasil. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2. Petrópolis 1946. Anais... Petrópolis, v.3,p. 69-109.

ALVARENGA, R.; PINHEIRO, A.; SILVEIRA, L. Caracterização de alguns aspectos tecnológicos de tijolos de solo-cimento para fins de utilização na construção civil. XVIII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral, RJ 2010. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT Determinação do limite de liquidez do solo - NBR 6457/82.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT Determinação do limite de plasticidade do solo - NBR 7180/82.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT Análise granulométrica – Método de ensaio - NBR 7181/82.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT Rochas para revestimento – Método de ensaios - NBR 15845/2010.

BLANKENNAGEL, RICHARD K. Sumário geológico e potencial de água subterrânea da margem leste da Bacia do Maranhão, cobrindo o Estado do Piauí e uma pequena parte do Ceará. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1962. 26p.

CAMPBELL, D. F.; ALMEIDA, L. A.; SILVA, S. O. *Relatório preliminar sobre a geologia da bacia do Maranhão*. Rio de Janeiro, Conselho Nacional do Petróleo, 1949. 160p.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*, vol. 1. Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, RJ. 1978. 191p.

SUGUIO, K. *Geologia do quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)*. Ed. Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, 366p, São Paulo, 1999.

VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO MÁRMORE BEGE BAHIA NO SETOR POLIMÉRICO

¹G. E. Ferreira, ¹F. W. H. Vidal e ¹R. C.C. Ribeiro

¹Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – Cetem, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, gferreria@cetem.gov.br

RESUMO

Os resíduos de serrarias do mármore Bege Bahia apresentam, geralmente, granulometria ultrafina e baixos teores de ferro e sílica, caracterizando-o com elevado potencial para aplicação como carga mineral, uma vez que não há necessidades de altos custos com seu beneficiamento. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnico-econômica da aplicação do resíduo do mármore Bege Bahia como carga em materiais poliméricos. Dessa forma, foram processados compósitos constituídos de polipropileno e resíduo, que pôde ser incorporado em até 50%, em massa. Foram realizados ensaios mecânicos e de alterabilidade. Os resultados indicaram que a adição de apenas 20%, em massa, de resíduo foi capaz de reduzir a deformação de ruptura do compósito de 300% para 30% e aumentar a rigidez de 800 MPa para 1300 MPa. Os resultados de alterabilidade indicaram que os compósitos não sofreram alterações após exposição à névoa salina e SO₂. Tais resultados foram possíveis graças ao alto teor de cálcio (49%) e baixos teores de sílica (5%) e ferro (0,3%) deste tipo de resíduo. Junto à viabilidade técnica deverá ser apresentado um estudo de pré viabilidade econômica do projeto em questão, onde se levará em conta o mercado, a localização do empreendimento, a engenharia, os investimento necessários, as receitas e os custos.

Palavras-chave: resíduos de rochas, Bege Bahia, compósitos poliméricos.

1. INTRODUÇÃO

O mármore bege Bahia, como é conhecido comercialmente no setor de rochas ornamentais, é uma rocha calcária abundante na região do rio Salitre, que é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, e provém de alterações de calcários de formação salitre (Ribeiro e Magalhães, 2003) (Magalhães, 2008).

A extração desse mármore se concentra no pólo industrial entre as cidades de Ouro-lândia e Jacobina, e o desdobramento dos blocos ocorre em teares diamantados, além de se observar a utilização de talha-blocos para o aproveitamento de pequenos blocos para produção de ladrilhos (Vidal *et al.* 2009).

O Brasil é o sexto produtor mundial de rochas ornamentais, com uma produção anual de cerca de oito milhões de toneladas, onde o parque industrial brasileiro é basicamente constituído de aproximadamente 1.600 teares de lâminas convencionais. Arelada a essa produção observa-se a geração de uma quantidade significativa de resíduos grosseiros (casqueiros e sobras de chapas e ladrilhos) e de resíduos finos na forma de lama, geralmente composta por água, pó de rocha e algum abrasivo (granalha) (Silva, 1998). No caso do resíduo bege Bahia não são detectados abrasivos visto que o processo é essencialmente em teares diamantados o que facilita sua aplicação como carga mineral (Vidal *et al.* 2009).

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).

O empreendimento em referência tem por objetivo o aproveitamento dos resíduos oriundos das atividades de extração e beneficiamento do Mármore Bege Bahia, localizadas no pólo produtivo de Ourolândia. Nas atividades extrativas do referido pólo são obtidas cerca de 420.000 t/ano, gerando aproximadamente 294.000 t/ano de resíduos. O mencionado fluxo de resíduos oferece uma série de externalidades negativas, a seguir assinaladas:

- Desperdício/ dissipação do capital natural com expressiva perda de geração de valor social;
- Degradação do solo;
- Erosão e assoreamento de nascentes e cursos d'água;
- Emissão de material particulado sob a ação de ventos;
- Efeito paisagístico;
- Impedimentos e conflitos com outros usos alternativos do solo

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de produção tecnológica de compósitos de polipropileno contendo resíduos do beneficiamento do mármore bege Bahia e verificar a pré-viabilidade econômica de sua geração.

3. EXPERIMENTAL

3.1 Origem dos Materiais

O PP apresenta índice de fluidez 2,16 Kg/230°C e densidade aparente de 0,903 g/cm³ e foi fornecido pelo Instituto Nacional de Tecnologia - INT. Já o resíduo é oriundo da lavra do mármore bege Bahia, da cidade de Ourolândia – BA, que foi peneirado até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm.

3.2 Análise Química do Resíduo

A determinação da composição do resíduo foi realizada pela coordenação de análises minerais (COAM) do CETEM. As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh. Para obtenção da análise química semi-quantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectra plus v.1.6 no modo standardless method, sem curva de calibração específica.

3.3 Processamento do Compósito

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, utilizando-se uma velocidade de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teores de resíduo utilizados foram: 0%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar uniformemente e puxar o material. Na Tabela 1 encontram-se as composições e nomenclaturas de cada um dos compósitos processados.

Tabela 1 - Composição dos compósitos.

Composição	PP (g)	PP-MA (g)	Bege Bahia (%)	Irganox 1010 (g)
BB001	400	0	0	4
BB002	400	0	10	4
BB003	400	0	20	4
BB004	400	0	30	4
BB005	400	0	40	4
BB006	400	0	50	4
BB007	360	40	0	4
BB008	360	40	10	4
BB009	360	40	20	4
BB010	360	40	30	4
BB011	360	40	40	4
BB012	360	40	50	4

*PP-MA – Trata-se de um compatibilizante de polipropileno grafitizado com anidrido maléico.

**Irganox – Trata-se de um anti-oxidante

3.4 Realização de Ensaios de Caracterização dos Compósitos

3.4.1 Determinação da Densidade Aparente

A densidade aparente dos compósitos foi determinada segundo a norma ABNT 08/98 por meio da verificação da variação da água em uma proveta após a adição do compósito. Foram ensaiados seis corpos de prova de cada amostra e obteve-se o valor médio.

3.4.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas do compósito foi determinado por meio do ensaio de tração, utilizando-se uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Emic, modelo DL3000. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 638, a temperatura de 23 °C e velocidade de 50mm/min. Foram ensaiados seis corpos de prova de cada amostra e obteve-se o valor médio.

3.5 Pré-viabilidade Econômica

Para a avaliação da pré-viabilidade de implantação de uma unidade de aproveitamento dos resíduos oriundos da extração e do beneficiamento do Mármore Bege Bahia, produzido na região de Ouroândia, estão sendo avaliados o mercado, o processo/tecnologia, os materiais de consumo e auxiliares, o Lay Out das instalações e fluxograma de processo, a relação de equipamentos e de obras civis, os coeficientes técnicos operacionais, o orçamento de investimentos e de custos operacionais, as projeções econômico-financeiras, os aspectos locacionais e ambientais, os efeitos do empreendimento e os méritos e riscos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processamento do Compósito de Polipropileno e Mármore Bege Bahia

A Figura 1 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, do resíduo.

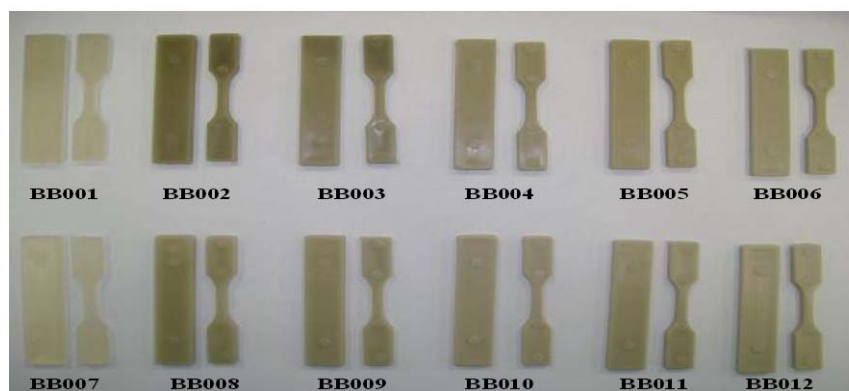


Figura 1 - Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduo.

4.2 Análise Química

A análise química indicou que o principal elemento do resíduo é o cálcio (48,85%), sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio e que os teores de sílica (5,13%) e óxidos de ferro (0,34%) são extremamente baixos, caracterizando a alta qualidade do resíduo para aplicação como carga mineral. Tal fato está relacionado com o processo de desdobramento das placas, que não utiliza granalha, daí o baixo valor de ferro e da composição da rocha, que apresenta pequeno teor de sílica. No entanto, esse dois elementos, que geralmente oneram as práticas de beneficiamento de alguns resíduos, estão em concentrações muito baixas, caracterizando a viabilidade de utilização desse resíduo, rico em cálcio, como carga no setor polimérico.

4.3 Realização de Ensaio de Caracterização dos Compósitos

4.3.1 Determinação da Densidade Aparente

Na Figura 2 estão apresentados os resultados de densidade aparente dos compósitos em estudo. Os valores de densidade aparente determinados para o PP puro (BB 001 e BB007) foi em torno de 0,9 g/mL, compatível com o valor da literatura, 0,920 g/mL (Mano, 1991). Observou-se também que após a adição de 20% em massa de resíduo bege Bahia houve um aumento considerável na densidade aparente, chegando-se a valores em torno de 1,7 g/mL, indicando o efeito da carga mineral na matriz polimérica.

4.3.2 Propriedades Mecânicas

Na Figura 3 verifica-se o limite de escoamento dos compósitos gerados. O limite de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que o aumento do percentual de carga mineral na matriz polimérica é capaz de diminuir a tensão de escoamento, indicando que a presença dessa carga é responsável em fazer com que os compósitos suportem menos tensão no escoamento, como se observa nos compósitos BB002 à BB 006, onde o limite de escoamento diminui de 32 MPa para 26 MPa. No entanto, quando se verificam os valores dos compósitos que apresentam o compatibilizante PP-MA (BB007 a BB012) observa-se que o aumento de carga mineral não reduz o limite de escoamento indicando que o compatibilizante (PP-MA) aumenta a dispersão das partículas da carga mineral na matriz polimérica.

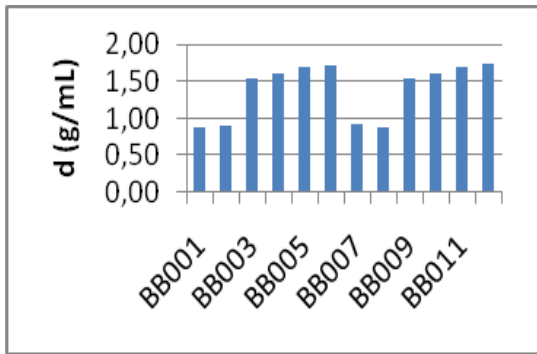


Figura - 2 - Densidade aparente (g.mL⁻¹) dos compósitos.

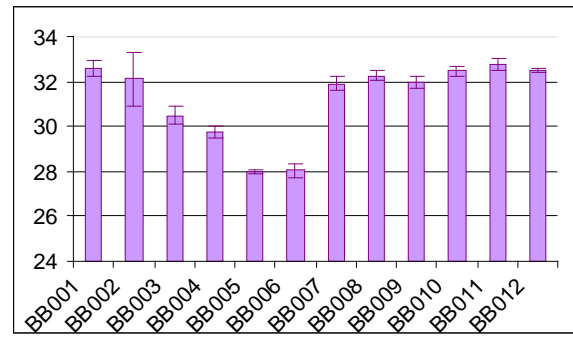


Figura 3 - Limite de Escoamento dos compósitos.

Na Figura 4 observa-se que a deformação na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 300% para o BB001 e 350% para o BB007. Verifica-se também que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10% para os compósitos que apresentavam 50%, em massa de resíduo, que são BB006 e BB012. A atuação benéfica do compatibilizante PP-MA pode ser verificada já nos compósitos contendo 20%, em massa de resíduo (BB009), que apresentaram uma diminuição mais significativa na deformação na ruptura, se comparada ao compósito com o mesmo percentual de resíduo, porém sem a presença do compatibilizante (BB003). A função do compatibilizante é permitir a dispersão entre a carga mineral e o polímero, e isso pôde ser verificado nos compósitos que o apresentava em sua composição.

Na Figura 5 pode-se verificar o módulo de elasticidade dos compósitos. O módulo de Young ou módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. Dessa forma, verifica-se que os materiais de polipropileno isentos de carga mineral (BB001 e BB007) apresentam os menores valores de módulo de elasticidade, em torno de 800MPa, e que a adição de carga é capaz de aumentar esse valor para 1300MPa para todos os compósitos, indicando o aumento de rigidez do material sólido.

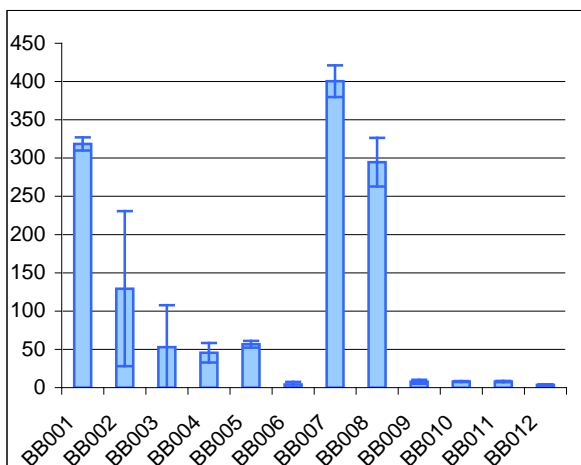


Figura 4 - Deformação na ruptura (%) dos compósitos.

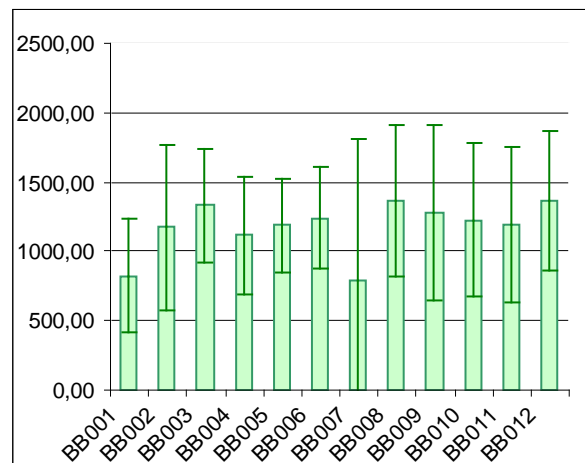


Figura 5 - Módulo Elástico (MPa).

4.2 Pré-viabilidade Econômica

Em relação à avaliação de pré-viabilidade econômica, estão sendo realizadas visitas ao pólo produtor do Mármore Bege Bahia, na região de Ourolândia, para entrevistas e levantamentos de informações complementares, com relação ao sistema produtivo existente e ao fluxo de produção extrativa e beneficiada, bem como de geração de resíduos. Além disso, estão sendo realizadas visitas ao pólo de Camaçari e a outros pólos potencialmente vocacionados para a utilização do resíduo de Ourolândia, com foco na verificação das perspectivas de mercado, em termos de volumes demandados e especificações requeridas dos insumos.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que tecnicamente o resíduo do mármore bege Bahia pode ser utilizado como carga mineral na produção de compósito de polipropileno, chegando-se a 50% em massa. No entanto, torna-se necessário finalizar a etapa de visita técnica aos pólos de Ourolândia e Camaçari para se tirar alguma conclusão sobre a viabilidade econômica desse aproveitamento tecnológico dos resíduos.

REFERÊNCIAS

RIBEIRO, A. F. e MAGALHÃES, A. C. F. Caracterização Geológica-Econômico do Mármore Bege Bahia. IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza – CE, 2003. p. 63-67.

MAGALHÃES, A.C.F. Mármore Bege Bahia: dos tempos pretéritos ao panorama atual. III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais – VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal-RN, 2008.

VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. Relatório de Andamento de Realizações, Salvador – BA, 2009.

SILVA, S. A. C., Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito: Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassa de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.

LIMA, A. B. T., Aplicações de Cargas Minerais em polímeros. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A IMPORTÂNCIA DO ESTADO DA PARAÍBA NA EXPLORAÇÃO DE MINÉRIOS E GEMAS: ÊNFASE NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS/REJEITOS E NA BUSCA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

S.S. Pereira¹, R.C. Curi²

¹Doutoranda em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande
Bolsista CNPq, Campina Grande, PB. e-mail: suellenssp@hotmail.com

²Docente dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental e de Recursos Naturais,
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, PB. e-mail: rosirescuri@yahoo.com.br

RESUMO

Dentre as atividades econômicas desenvolvidas no Estado da Paraíba, encontra-se a atividade de mineração, presente tanto na forma de extração, como no beneficiamento/fabricação do minério, envolvendo, aproximadamente, 300 empresas em todo o território paraibano¹, fato que gera empregos e movimentação a economia das cidades em que esta atividade se desenvolve. Merece destaque a Região do Seridó Paraibano, que semanalmente produz 600 toneladas de minério. Tanta representatividade fez com que o estado em foco seja considerado o terceiro na exploração de gemas, ficando atrás apenas dos estados da Bahia e de Minas Gerais, o que ressalta a importância da citada atividade para a economia local. Apesar da importância e representatividade da mineração, como enfatizado acima, há que se considerar os impactos negativos decorrentes desta atividade, principalmente no que se refere aos danos ambientais. Neste sentido, o presente artigo tem por objetivo refletir sobre a importância da atividade de mineração para a economia do Estado da Paraíba; ressaltando os impactos ambientais decorrentes da supracitada atividade, com ênfase para a geração de resíduos/rejeitos (sólidos); ao tempo que propõe algumas alternativas de reaproveitamento desse material, como forma de tornar a atividade em pauta ambientalmente sustentável. Para tanto, fez-se necessário um levantamento bibliográfico para fundamentação teórica do estudo, sendo este realizado em artigos científicos; sites especializados e governamentais; periódicos; dentre outros. Observa-se, que poucas são as empresas, principalmente as de pequeno porte, que possuem um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), com a finalidade de otimizar os processos do ponto de vista ambiental, tanto de exploração quanto de produção, enquadrando estas empresas dentro de um cenário de sustentabilidade, através da redução, reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, pela própria unidade ou usando estes resíduos como matéria-prima para outras indústrias, o que reflete diretamente, em insumos econômicos e ganho ambiental.

Palavras-chave: Exploração mineral/gemas, impactos ambientais, resíduos/rejeitos, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é sem dúvida a atividade indispensável à sobrevivência do homem moderno, dada a importância assumida pelos bens minerais em praticamente todas as atividades humanas: a atividade mineral é também um desafio para os organismos ambientais, pois caracteriza-se como setor que mais demanda pedidos de licenciamento ambiental na maioria dos Estados Brasileiros (Oliveira, 1999, p.201).

Dentre os impactos decorrentes da exploração mineral, encontra-se a crescente geração de resíduos, podendo este ser proveniente tanto pela extração do minério, quanto do processo de beneficiamento deste, em virtude, principalmente, do aumento da demanda causado pelo crescimento da economia mundial. No que se refere à realidade local, Menezes *et. al.* (2007) afirmam que as indústrias do

¹ Dados referentes às empresas regularizadas que atuam no Estado da Paraíba, sendo estas informações extraídas do Cadastro Industrial 2008, elaborado pela Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP).

beneficiamento do caulim e da serragem do granito são importantes segmentos econômicos do Estado da Paraíba. Entretanto produzem enormes quantidades de resíduos, repercutindo em danos ambientais. A abordagem ambiental mais recente, objetiva, exatamente, o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte dos materiais oriundos das atividades industriais (Souza *et. al.*, 2004). A inserção dos resíduos num ciclo produtivo deve representar uma opção de recuperação alternativa desses materiais, que é interessante tanto no aspecto ambiental, como no econômico (Andreola *et. al.*, 2002) *apud* (Menezes *et. al.*, *op. cit.*).

Neste sentido, o presente artigo tem por objetivo refletir sobre a importância da atividade de mineração para a economia do Estado da Paraíba; ressaltando os impactos ambientais decorrentes da supracitada atividade, com ênfase para a geração de resíduos/rejeitos (sólidos); ao tempo que propõe algumas alternativas de reaproveitamento desse material, como forma de tornar a atividade em pauta ambientalmente sustentável. Para tanto, fez-se necessário um levantamento bibliográfico para fundamentação teórica do estudo, sendo este realizado em artigos científicos; sites especializados e governamentais; periódicos; dentre outros, como forma de embasar as discussões aqui estabelecidas, assim como alcançar os objetivos delineados para o presente artigo.

A comunicação em foco está estruturada, afora a parte introdutória e as considerações finais, em quatro itens que se inter-relacionam. Primeiramente, será realizada uma breve explanação sobre a atividade de mineração do estado da Paraíba, com vistas a ressaltar a importância da citada atividade para a economia local, bem como a necessidade de maiores investimento no setor. Em seguida, relacionam-se os impactos ambientais negativos decorrentes da exploração mineral, sendo estes manifestados nos diversos sistemas ambientais, apresentando, em alguns casos, situações irreversíveis, dada à intensidade do problema. Posteriormente, aborda-se a problemática dos resíduos/rejeitos oriundos da exploração de minérios, sendo este considerado, por alguns pesquisadores, como um dos maiores problemas da atividade em foco, haja vista o aumento da demanda no setor produtivo e, por conseguinte, uma maior intensificação na retirada deste material. Por fim, busca-se apresentar, a luz da literatura existente, algumas alternativas consideradas viáveis, para o reaproveitamento desses resíduos, resultando tal ação em ganhos econômicos e ambientais, almejando, com isso, alcançar a sustentabilidade da mineração.

2. A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA: BREVES CONSIDERAÇÕES

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (Farias, 2002).

De acordo o Cadastro Industrial 2008 (FIEP, 2008), elaborado pela Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, existem no estado, setenta e sete empresas trabalhando na extração de minerais não-metálicos, deste total, doze empresas fazem a extração de pedras, areia e argila, as demais, trabalham com outro tipo de material. No que se refere à extração de pedras, foco maior do presente trabalho, ressalta-se a ocorrência de quatro empreendimentos que desenvolvem suas atividades com base na exploração do granito. No tocante a fabricação de produtos a base de minerais não-metálicos, observou-se a presença de cento e noventa e quatro empresas, distribuídas em sub-atividades, distribuídos nos mais diversos setores, com destaque para as indústrias de fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e estuque; seguida por empresas de fabricação de produtos cerâmicos, totalizando, juntas, cento e trinta e uma empresas, o que representa 67,52% de todos os empreendimentos do setor que se encontram regularizados junto aos órgãos competentes.

O estado da Paraíba vem também ganhando uma grande expressão nacional no ramo da mineração, principalmente no que concerne a exploração de gemas, ficando atrás, de acordo com especialistas, apenas dos estados da Bahia e de Minas Gerais. Merece destaque, no cenário paraibano, a região do Seridó, que, atualmente, explora os seguintes minérios: albita, mica, granito, quartzo rosa, feldspato, lítio, água-marinha, nióbio, urânio, tantalita e a turmalina Paraíba. Este último, com grande valor econômico e comercial, sendo considerada uma das pedras mais caras do mundo (Paraíba, 2012).

De acordo com Parahyba *et. al.*, (2009), a produção mineral informada, comercializada nos estados bruto e beneficiado e/ou transferida para tratamento ou transformação, na região semiárida do estado da Paraíba, em 2007, no valor de 90 milhões de reais, equivaleu a 47% de toda a produção mineral comercializada na unidade federativa, importância que se manteve no triênio 2005-2007. Apresentando, entretanto, a produção em valores nominais um crescimento de 9% no período. Pouco mais de 90% do valor dessa produção foi obtida nos municípios de Boa Vista, 84% e Campina Grande, 7%. Em termos de importância no valor das substâncias produzidas em 2007, 95% da produção foi devida a comercialização de bentonita, 83% e rochas ornamentais, 12%.

No que concerne ao pessoal ocupado nas atividades de lavra e beneficiamento de minérios, em 2007 o setor empregou nas atividades regularizadas, frente ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM, 832 trabalhadores, um crescimento de 19%, contado a partir de 2005. Ressalta-se que, igualmente a situação nacional, o número de trabalhadores exercendo tal atividade pode ser consideravelmente superior, haja vista a ilegalidade de algumas áreas destinada à extração mineral. Os setores produtores que se mostraram maiores responsáveis pela ocupação de mão-de-obra em 2007 foram os produtores de bentonita e de rochas ornamentais, tendo ocupado quase 70% de toda mão-de-obra empregada na extração e beneficiamento de minérios do semiárido paraibano. Como consequência da atividade mineradora os municípios maiores empregadores de mão-de-obra do semiárido foram Boa Vista e Campina Grande, responsáveis pela ocupação de quase 54% do pessoal empregado nas atividades de mineração. Apenas três substâncias minerais se destacaram no cenário mineral paraibano, quando considerado o universo formal da mineração, compondo 96% do total comercializado em 2007 – Bentonita, rochas ornamentais e brita (Parahyba *et. al.*, 2009).

No município de Várzea, por exemplo, conforme a Cooperativa dos Mineradores, CooperVárzea, cerca de 800 pessoas estão envolvidas no processo de extração e beneficiamento, sobretudo de pedras ornamentais como o quartzito. Isso corresponde a quase um terço da população local, que é de 2.504 habitantes. Segundo o presidente da CooperVárzea, Carlos Henrique Lopes, a falta de mecanização do processo produtivo acarreta além de desperdício de materiais e danos ao meio ambiente, comprometimento na renda dos que dependem da atividade. Um metro quadrado de pedra bruta é vendido para as serrarias por R\$ 6,00. Lá, ele passa a custar até R\$ 15,00. Indústrias particulares instaladas no município conseguem trabalhar melhor a pedra, transformando-as em telas decorativas de ambientes, que chegam a ser comercializadas por até R\$ 180,00 o metro. “Além de não termos as máquinas para beneficiarmos a pedra, não fazemos o aproveitamento dos resíduos, que poderiam virar artesanatos”, diz o presidente².

De acordo com Paraíba (2012), estima-se que oito mil famílias trabalhem diretamente com a mineração em todo o Estado da Paraíba. Somente a região do Seridó, produz semanalmente, 15 mil toneladas de caulim e 600 mil toneladas de minério. O que ressalta a representatividade do setor para a economia local, assim como, os impactos decorrentes da exploração e beneficiamento do minério quando não gerenciados, o que será melhor explicitado no item que se segue. Apesar da representatividade do setor

² Informações disponíveis em:

http://www.vitrinedocariri.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=38188&Itemid=1. Acesso em: 30 de julho de 2012.

para a economia local, o pesquisador e professor Antônio Pedro Ferreira³ da Universidade Federal de Campina Grande, avalia que “o minério é uma vocação natural da Paraíba, mas ainda não foi transformada em potencial econômico na mesma proporção, simplesmente por falta de prioridade dos governos que não vestiram a camisa do setor”. Ainda de acordo com o pesquisador, investimentos na pequena mineração seriam uma saída para a geração de trabalho, renda e riqueza nos municípios.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

De acordo Silva (2007), as atividades humanas, as chamadas econômicas, alteram o meio ambiente, sendo a mineração e a agricultura as duas atividades econômicas básicas da economia mundial. Através destas, o homem extrai recursos naturais que alimentam toda a economia. Sem elas, nenhuma das atividades subsequentes pode existir. A mineração e a agricultura, junto com a exploração florestal, a produção de energia, os transportes, as construções civis (urbanização, estradas, etc.) e as indústrias básicas (químicas e metalúrgicas) são os causadores de quase todo o impacto ambiental existente na terra. O impacto das demais atividades econômicas torna-se pouco significativo quando comparado às citadas anteriormente. Ainda de acordo com o autor supracitado, a atividade de mineração, evidentemente, causa um impacto ambiental considerável, haja vista que esta altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito. Além do mais, quando temos a presença de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério, isto pode significar um problema sério do ponto de vista ambiental.

Segundo o CONAMA (1982), impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que, direta ou indiretamente, afetem: a saúde, segurança e bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; o conjunto de plantas e animais de uma determinada área; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (1987), entende-se por poluição e degradação ambiental a resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população, que criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, que afetem desfavoravelmente a biota, as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e que lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões estabelecidos.

Dentre as atividades humanas desenvolvidas, uma das que mais afeta negativamente o meio ambiente refere-se à atividade de mineração, considerando que esta afeta todos os sistemas ambientais (atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera), com danos às vezes irreversíveis, dada a técnica empreendida, ao tempo de exploração da área; bem como pelo fato de que os recursos minerais são bens esgotáveis, não renováveis. Por esse fato, tendem a escassez à medida que se desenvolve a sua exploração. A seguir, são dadas definições técnicas para alguns termos utilizados na área de mineração.

Igualmente as informações apresentadas por Silva (2007), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2002), na resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002, em seu Art. 1º, apresenta algumas definições referentes à atividade de mineração, dentre tais definições, cabe destacar as significações utilizadas para o termo **estéril**, sendo este representado por qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário. O termo **rejeito** é definido como material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério. Define também: a) o sistema de disposição de estéril como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas;

³ Idem.

e b) sistema de disposição de rejeitos como estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes.

Quadro 1 - Termos utilizados na atividade de mineração e suas respectivas definições técnicas.

Termos	Definições Técnicas
Beneficiamento ou tratamento:	Processamento da substância mineral extraída, preparando-a com vistas à sua utilização industrial posterior.
Bota-fora:	Local para deposição do estéril da mina e, às vezes, para o rejeito da usina de beneficiamento.
Capejamento:	Camada estéril que recobre a jazida mineral e que deve ser retirada para efeito de extração do minério na lavra a céu aberto.
Estéril:	Termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico.
Jazidas minerais:	Massa individualizada de substância mineral ou fóssil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, em quantidades e teores que possibilitem seu aproveitamento em condições econômicas favoráveis.
Mina:	É a jazida mineral em fase da lavra, abrangendo a própria jazida e as instalações de extração, beneficiamento e apoio.
Mineral:	É toda substância natural formada por processos inorgânicos e que possui composição química definida.
Minério:	Mineral ou associação de minerais que pode, sob condições econômicas favoráveis ser utilizado como matéria prima para a extração de um ou mais metais.
Rejeito:	Rochas ou minerais inaproveitáveis presentes no minério e que são separadas deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento.

Fonte: Silva (2007 – formatação das autoras).

Segundo Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos. O IBRAM (1987) afirma que nas atividades de mineração, as principais fontes de degradação são: a deposição de resíduos ou rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento e a deposição de materiais estéreis, ou inertes, não aproveitáveis, provenientes do decapeamento superficial.

Faz-se oportuno destacar que, para o exercício da atividade em questão, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da área para concessão do Licenciamento Ambiental é imprescindível. Dessa forma, pode-se dizer que a exigência do EIA aplica-se aos empreendimentos mineiros de toda e qualquer substância mineral. Entretanto, para as substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, em função das características do empreendimento, poderá ser dispensado a apresentação do EIA. Nesse caso, a empresa de mineração deverá apresentar o Relatório de Controle Ambiental (RCA), em conformidade com as diretrizes do órgão ambiental estadual competente (Farias, 2002). Na realidade, a apresentação do RCA não é posto em prática, na maioria dos casos, principalmente quando se reporta as áreas que funcionam na ilegalidade.

4. A GERAÇÃO DE RESÍDUOS/REJEITOS E OS SEUS IMPACTOS AO AMBIENTE

Dentre os principais impactos ambientais sobre a superfície do terreno, tem-se à disposição final inadequada de rejeitos e resíduos decorrentes da lavra que pode comprometer a paisagem e degradar o solo e águas subterrâneas. A forte disponibilidade do rejeito das mineradoras constitui um problema para o produtor rural na região. A lavra ou mineração de argila provoca a degradação física, muitas vezes de forma drástica, podendo provocar grande impacto visual, modificações na topografia, erosão do solo, assoreamento de drenagens, dentre outros (Pereira, 2008). As atividades minerais em geral, e a lavra de Rochas e Minerais Industriais (RMI) em particular, talvez mais que outras operações industriais, mantêm uma relação difícil com o meio: para extrair, transportar, transformar e comercializar os minerais, é preciso prejudicar o meio, às vezes de forma irreversível, e produzir uma quantidade de resíduos que quase sempre é muito grande (Perez, 2001).

Segundo o mesmo autor, além dos danos que podem causar pelo volume de resíduos gerado, é preciso considerar outras características ambientais negativas decorrentes das explorações minerais: a primeira é que a localização das pedreiras e minas tem de ser feita no lugar onde existe o jazimento, o que não ocorre com outros tipos de indústrias; este fato pode causar danos ecológicos ou paisagísticos. A segunda é que a mineração é sempre agressiva ao meio em que se situa; os enormes volumes que são necessários tratar, formam sinais visíveis na superfície terrestre difíceis de ocultar, afetando a fauna e a flora, e o clima, pelas explosões, poeira e contaminação química por compostos de tratamento, piorando a qualidade de vida dos habitantes mais próximos, entre os quais se encontram os próprios mineiros. A terceira característica está ligada à produção de resíduos que tem a ver com a possível contaminação de leitos fluviais e de aquíferos e a possibilidade, portanto, de transferir o dano para lugares afastados da própria mina.

Dentre os recursos minerais explorados na Paraíba, encontra-se o caulim, sendo o descarte inadequado deste apontado por Rezende (2008) como um dos grandes problemas do setor, haja vista o seu acúmulo em torno das empresas de mineração há dezenas de anos, o que vem sendo alvo de severa fiscalização e tem preocupado ambientalistas e pesquisadores, por não ser possível precisar os efeitos futuros das montanhas de resíduos na flora e fauna da região. O próprio montante de resíduos existente na região não é precisamente estimado, o que faz com que a imprecisão dobre e que os impactos futuros desses materiais se intensifiquem ainda mais.

Tal problemática, geração e descarte inadequado dos resíduos da mineração, também é observada nos trabalhos e pesquisas realizadas por Silva *et. al.* (2001), Menezes *et. al.* (2007), Rezende *et. al.* (2007) e Assis *et. al.* (2011), o que ressalta a necessidade de políticas públicas referentes ao exercício da atividade em foco no estado da Paraíba, como forma de garantir a minimização dos impactos ambientais, assim como melhores condições de trabalho para os que dependem da mineração.

Brandt (2004) descreve a caracterização, quantificação e qualifica os diversos tipos de resíduos gerados pela empresa em todas as suas atividades, pois através desses estudos de caracterização, qualificação e quantificação será possível evitar vários tipos de Riscos provenientes de Resíduos Sólidos de uma Indústria de Mineração, tais como: Contaminação do Solo, Contaminação da Água, Riscos de Propagação de Doenças, Riscos de Emissões Atmosféricas sem Controle, Destruição da Flora local e afastamento da Fauna, Aumento de materiais particulados contaminados, risco no manejo com o ácido sulfúrico, etc. Sendo assim, torna-se necessária a implantação de um sistema eficiente para a gestão destes resíduos, de forma a controlar as etapas envolvidas desde a geração até sua disposição final. Este sistema, além de evitar danos ao meio ambiente citados acima, permite também a implementação de uma política de reutilização e reciclagem de resíduos, reduzindo o volume a ser disposto em aterros (Machado & Ferreira, 2006).

5. EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE NO SETOR DE MINERAÇÃO: ALTERNATIVAS PARA REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS/REJEITOS

No Estado da Paraíba, assim como em todo território nacional, um dos agravantes observados na exploração mineral, conforme observado anteriormente, refere-se a crescente geração de resíduos/rejeitos provenientes dessa atividade e, por conseguinte, o seu descarte indiscriminado no ambiente. É bem verdade que tanto as minas quanto as empresas de mineração, causam impactos ao meio ambiente, porém, é praticamente impossível para a sociedade industrial privar-se do uso dos recursos minerais, uma vez que os múltiplos usos desses possibilitaram o grande desenvolvimento industrial dos dois últimos séculos (Ross, 2005, p. 231). Uma alternativa de minimizar os danos decorrentes da mineração, de acordo com Parizotto (1995), seria a implantação de um programa de minimização de resíduos e reciclagem nas empresas mineradoras, perpassando este por um planejamento criterioso do processo produtivo, criatividade para resolver os problemas gerados pelos resíduos, mudanças de atitudes administrativas, investimentos em equipamentos e em tecnologia, e o mais importante: um desejo real de enfrentar e resolver os problemas causados pela produção, uso e deposição final de seus produtos.

Desse modo, o aproveitamento de resíduos das empresas de mineração, pode de fato se tornar um excelente “instrumento de gerenciamento ambiental”, principalmente no tocante à resolução de um dos mais graves problemas dessas empresas de mineração, como os crescentes custos e as restrições ambientais à deposição de materiais estéreis e de rejeitos (Parizotto, op. cit., p.47). Ainda sobre a importância de reaproveitamento dos resíduos, principalmente no que se refere à análise da viabilidade econômica do aproveitamento de uma jazida, o IBRAM (1987), ressalta que, apesar dos custos expressivos para o controle ambiental, a recuperação das áreas e a sua reutilização, assim como o aproveitamento dos resíduos e medidas preventivas podem vir a tornar o controle ambiental menos onerosos, visto que depósitos de resíduos em uma época podem servir de matérias-primas para a geração seguinte.

No que se refere ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de uma empresa, a ABNT (1996) define este como sendo:

À parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental.

Diversas experiências, principalmente das administrações municipais, mostram que, havendo vontade política, é possível viabilizar ações governamentais pautadas pela adoção dos princípios de sustentabilidade ambiental (Jacobi, 2003). Podendo tais ações perpassarem pela implementação de um SGA. Desse modo, complementando as colocações de Jacobi (op. cit.), Avelar (2004), afirma que o engajamento e a participação da sociedade na busca pela gestão ambiental na mineração deverão atingir os estágios de participação e co-gestão. Para tanto, devem ser criados mecanismos eficazes de transmissão do conhecimento, que informem, comuniquem e eduquem a população, de modo a estabelecer as bases para o seu engajamento no processo decisório. Esse mecanismo de democracia direta deve permitir aos cidadãos deliberar diretamente sobre as questões ambientais, fiscalizando e dando mais entrosamento e eficácia à ação do poder público.

Sobre as alternativas de reaproveitamento dos resíduos/rejeitos da atividade de mineração, a seguir são apresentados alguns exemplos, a luz da literatura existente, para reintrodução desse material e, conseqüente, minimização dos impactos ambientais negativos decorrentes do descarte inadequado destes.

- Algumas pesquisas (Silva *et. al.*, 2001; Menezes *et. al.*, 2007; Rezende *et. al.*, 2007, 2008) já vêm estudando possibilidades de reaproveitamento dos resíduos provenientes do beneficiamento do caulim, assim como da serragem do granito para a produção de blocos e telhas cerâmicas, sendo estes utilizados juntos ou separadamente no processamento desses materiais, conseguindo bons resultados;
- Em trabalho desenvolvido por Paldés (2007), referente ao aproveitamento de rejeitos do processo industrial de rochas ornamentais na arquitetura, o autor buscou enfatizar o aproveitamento de serragem e corte dos granitos, sendo uma das aplicações na utilização de painéis decorativos. Também foi observado a viabilidade desse material para a execução de paredes estruturais, arrimos, paredes dupla-face, dentre outros projetos arquitetônicos;
- Sousa *et. al.* (2007), buscou evidenciar a possibilidade de reduzir a quantidade de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais, utilizando soluções de baixo custo e capazes de agregar valor comercial aos resíduos, sendo este proveniente do beneficiamento de granito. De acordo com o autor, a partir da utilização de equipamentos de cominuição e de classificação, normalmente usados no processo de beneficiamento de minérios e de uma serra manual de disco diamantado, procurou-se transformar os rejeitos grossos que ocorrem sob forma de retalhos de pedra, em peças para serem utilizadas como insumo da construção civil, como por exemplo, em calçadas;
- A reutilização dos resíduos da exploração mineral também foi alvo das pesquisas de Ribeiro *et. al.* (2007), que buscaram verificar a possibilidade de utilização de um rejeito de pedreira de granito como agregado mineral para pavimentação asfáltica. De acordo com as análises desenvolvidas, observou-se que este tipo de rejeito pode ser utilizado como agregado mineral para fins de pavimentação asfáltica, sem que exista a necessidade de utilização de melhoradores de adesividade;
- Por fim, apresenta-se a proposta de Zampirolli *et. al.* (2007), que teve como proposta a confecção de mosaico com resíduos de rochas ornamentais como possibilidade de desenvolvimento regional, estando este, tanto no seu processo de criação quanto elaboração, sustentados pelo aproveitamento de resíduos tratando-se, desse modo, de um “design sustentável”, e pelo objetivo de geração de trabalho e renda, o que se pode chamar de “design social”.

Diante dos exemplos relacionados, observa-se que existem inúmeras possibilidades de aproveitamento dos resíduos/rejeitos (sólidos) da atividade de mineração, evitando que este seja descartado de forma incorreta no meio ambiente, assim como repercutindo em insumos econômicos, podendo, também, se reverter em ganho social, através da inclusão da população local em projetos artesanais que visem o reaproveitamento desses materiais, por exemplo, o que reforça a viabilidade e necessidade de políticas públicas no setor, no sentido de disponibilizar maiores investimentos para consolidação da atividade em foco.

6. CONSIDERAÇÕES

Comungamos com Andrade (1993) quando este admite que não se pode questionar a necessidade de explorar os recursos minerais que um país possui e sabendo-se que a exploração é feita através de concessões e subsídios governamentais, tem-se que admitir que esta exploração deve ser planejada levando em conta as dimensões das reservas e o atendimento às necessidades da demanda local, tanto para sua transformação industrial como para exploração. No estado da Paraíba, apesar da representatividade da mineração para a economia local, observa-se a necessidade de maior investimento no setor, no intuito de, primeiramente, regularizar a situação de quem desenvolve a atividade em foco dentro da ilegalidade; como forma de contribuir para o crescimento do setor, através de programas de capacitação, organização de cooperativas, bem como modernização da atividade, com

financiamento de maquinário para beneficiamento do minério, repercutindo em maior ganho econômico.

Observa-se, que poucas são as empresas, principalmente as de pequeno porte, que possuem um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), com a finalidade de otimizar os processos, tanto de exploração quanto de beneficiamento, enquadrando estas empresas dentro de um cenário de sustentabilidade, através da redução, reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, pela própria unidade ou servindo estes de matéria-prima para outras indústrias, o que reflete diretamente, em insumos econômicos e ganho ambiental. Assim sendo, ressalta-se, diante das informações apresentadas, que a utilização de resíduos minerais faz-se extremamente importante tanto do ponto de vista social e ambiental, quanto do técnico e econômico, uma vez que esta proporciona um uso eficiente dos recursos; valorização do resíduo; geração de novos empregos; redução dos custos com o seu descarte e redução dos impactos ambientais. Corroborando para a sustentabilidade da atividade de mineração.

REFERÊNCIAS

- ABNT, (1996). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 1404: sistemas de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro.
- Andrade, M.C. (1993). Desafio ecológico: Utopia e Realidade. Ed. Hucintec Ltda, São Paulo.
- Avelar, L. (2004). Participação Política. In: Avelar, L. E Cintra, A.C. Sistema político brasileiro: uma introdução. São Paulo: Editora Unesp.
- Assis, H.F.S. *et. al.* (2011). Avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada-PB. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV, n. 90, jul. Disponível em: www.ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=9925&revista_caderno=5. Acesso em: julho de 2012.
- Brandt, (2004). Meio Ambiente. Plano de Gestão Ambiental – Companhia Níquel Tocantins. Niquelândia – GO. Cap. 5 – 10p.
- CNRH, (2002). Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002. Disponível em: www.sgguarani.org/index/pdf/gestao_integrada_del_agua/legisla/br/cnrh/search=%22disposi%C3%A7%C3%A3o%20est%C3%A9ril%22. Acesso em: julho de 2012.
- CONAMA, (1982). Conselho Nacional De Meio Ambiente. Resolução nº. 1524/1982. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?ldsecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=60>. Acesso em: outubro de 2005.
- CPRM, (2002). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo. MME - Ministério de Minas e Energia, 2002. Disponível em: www.cprm.gov.br. Acesso em: novembro de 2006.
- Farias, C.E.G. (2002). Mineração e meio ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE – PNUD. Disponível em: http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf. Acesso em: outubro de 2011.
- FIEP, (2008). Federação das Indústrias da Paraíba. Cadastro Industrial 2008. Disponível em CD-Rom.
- IBRAM, (1987). Instituto Brasileiro de Mineração. Mineração e Meio Ambiente: Impactos previsíveis e formas de controle. 2 edição, Belo Horizonte.
- Jacobi, P.R. (2003). Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Cadernos de Pesquisa, n. 118, p. 189-205, março.

Machado, R.M. & Ferreira, O.M. (2006). Resíduos sólidos da indústria de mineração: estudo do estado de Goiás. Goiânia. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Disponível em: [www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/RES%C3%84DUOS%20S%C3%93LIDOS%20DA%20IND%C3%94STRIA%20DE%20MINERA%C3%87%C3%83O\(1\).pdf](http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/RES%C3%84DUOS%20S%C3%93LIDOS%20DA%20IND%C3%94STRIA%20DE%20MINERA%C3%87%C3%83O(1).pdf).

Acesso em: julho de 2011.

Menezes, R.R. *et. al.* (2007). Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. In: Cerâmica, 53, 192-199. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n326/14.pdf>. Acesso em: julho de 2011.

Oliveira, M.C.D. (coord.) *et. al.* (1999). Manual de impactos ambientais – orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. Banco do Nordeste. Fortaleza, CE.

Parahyba, R.E.R. *et. al.* (2009). Mineração no Semiárido Brasileiro. Presidência da república Federativa do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral. Brasília, DF.

Paldés, R. (2007). Aproveitamento de rejeitos do processo industrial de rochas ornamentais na arquitetura. In: Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais. Natal - Rio Grande do Norte – Brasil, 15 a 18 de Novembro.

Paraíba, (2012). Governo do estado da Paraíba. Mineração: municípios do Seridó estão consolidando uma nova fronteira econômica na Paraíba. In: Notícias da Paraíba – Revista mensal do Governo do estado da Paraíba. Ano 1, nº. 1, julho de 2012.

Parizotto, J.A. (1995). O Gerenciamento Ambiental: Estudo de caso de cinco empresas de mineração no Brasil. Rio de Janeiro: UNESP. Especialização em Proteção Ambiental.

Pereira, O.N. (2008). Gesso e rejeito de Caulim na correção de um solo salinizado e no crescimento de gramíneas. Patos-PB, 2008. 27 p. Monografia – Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande.

Perez, B.C. (2001). As rochas e os minerais industriais como elemento de desenvolvimento sustentável. Série Rochas e Minerais Industriais 3. Centro de Tecnologia Mineral, 37p. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

Rezende, M.L.S. (2007). Estudo de viabilidade técnica da utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. Campina Grande: Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, 54 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola).

Rezende, M.L. de S. *et. al.* (2008). Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 61(3): 285-290, jul. set. Disponível em: www.scielo.br/pdf/rem/v61n3/a04.pdf. Acesso em: julho de 2011.

Ribeiro, R.C.C. (2007). Aproveitamento de resíduos de gerados no corte de rochas ornamentais em pavimentação asfáltica. In: Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais. Natal - Rio Grande do Norte – Brasil, 15 a 18 de Novembro.

Ross, J.L.S. (2005). Geomorfologia Ambiente e Planejamento: O relevo no Quadro Ambiental Cartografia geomorfológica diagnósticos Ambientais. Editora Contexto, São Paulo.

Silva, J.P.S. (2007). Impactos ambientais causados por mineração. Revista Espaço Da Sophia - Nº 08 – Nov. – mensal – ano I. Disponível em: www.registro.unesp.br/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf. Acesso em: julho de 2011.

Silva, A.C. *et. al.* (2001). Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. REM - Revista Escola de Minas, v. 54, n. 2, p. 133-136.

Sousa, A.A.P. *et. al.* (2007). Gestão ambiental nas indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais do estado da Paraíba. In: Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais. Natal - Rio Grande do Norte – Brasil, 15 a 18 de Novembro.

Zampirolli, L. *et. al.* (2007). Mosaico com resíduos de rochas ornamentais como possibilidade de desenvolvimento regional. In: Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais. Natal - Rio Grande do Norte – Brasil, 15 a 18 de Novembro.

ASPECTOS COMPETITIVOS DA GESTÃO INDUSTRIAL DE MARMORARIAS DO ESTADO DA PARAÍBA

K. B. Veloso², A. A. P. Sousa^{1,2}, D. F. Oliveira², V. E. Lima², E. Laranjeira².

¹Departamento de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba.

²Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba.

Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Fone/Fax: 83 3315.3300

RESUMO

Os produtos resultantes das indústrias de beneficiamento de granito e mármore têm-se valorizado e adquirido maior aceitação nos mercados nacional e internacional. Além de estar contribuindo para a geração de saldos positivos na balança comercial do Brasil, gera emprego e renda no país. Para que estas empresas estejam preparadas para competir no mercado externo é necessário o planejamento e a execução de uma boa estratégia de apresentação de seus produtos. Este trabalho evidencia a importância do enfoque sistêmico como estratégia de marketing e produção, observando a relação entre o marketing e as tendências e perspectivas do mercado interno e externo. Os principais resultados alcançados com o desenvolvimento deste trabalho foram mostrar como a estratégia de marketing pode ser utilizada para alcançar metas comuns não só dentro da organização, mas também fora dela, uma vez que, utilizando a visão sistêmica, a empresa se encontra preparada para atuar no mercado globalizado e competitivo. Foram feitos estudos em 13 marmorarias, analisando as atuais perspectivas da gestão empresarial e competitividade no setor de mármore e granitos, num contexto de desenvolvimento sustentável deste setor. Para tanto explicita o conceito de competitividade e da estrutura comercial. Sintetiza o panorama do setor nos níveis mundial, nacional e estadual. Resgatando o desenvolvimento da indústria de mármore e granitos, enfocando seus principais aspectos econômicos e sociais. Utilizando como metodologia, visitas, observações e aplicação de questionários e explicitando os principais problemas na estrutura empresarial, observando que estas são ainda incipientes e devem ser ampliadas para contribuir ainda mais para o desenvolvimento sustentável da indústria de mármore e granito.

Palavras-chave: Competitividade. Indústrias de Mármore. Gestão Empresarial.

1. INTRODUÇÃO

O estudo setorial das marmorarias do Estado da Paraíba é um projeto de pesquisa de campo realizado pela Universidade Estadual da Paraíba em parceria com o Sindicato de Rochas Ornamentais do Estado da Paraíba (SINDRO) e executado pelo (SENAI/PB) Serviço Nacional da Indústria e (SESI/PB) Serviço Social da Indústria.

A atividade industrial de serviço e venda de produtos beneficiados de granito e mármore como chapas, ladrilhos e outros produtos com aceitação nos mercados externos e internos têm sido cada vez mais importantes, tanto para a geração de saldos positivos na balança comercial do Brasil, quanto para a geração de empregos e renda no país.

O granito é uma rocha natural e faz parte do que se denominam rochas ornamentais. Nesta denominação está incluído, além do granito, o mármore e a ardósia, quartzito, etc.(ALBUQUERQUE,2000)

No Brasil, o beneficiamento de rochas ornamentais tem cerca de 40 anos, contrastando com a Itália, por exemplo, com mais de 2 mil anos trabalhando com estes materiais, principalmente mármore e granitos (ALBUQUERQUE,2000).

O setor de marmoraria brasileiro é constituído, em sua maioria, por pequenos e médios empresários. Os que se dedicam à exportação o fazem, em parte, com blocos para beneficiamento no exterior e, em outra parte, com produtos beneficiados no país. As exportações brasileiras de granitos estão divididas em 50% de blocos e 50% de produtos beneficiados (ALBUQUERQUE, 2000).

As rochas ornamentais são empregadas em revestimentos internos e externos de construções de alto padrão e apresentam vantagens em relação a outros materiais por sua durabilidade, estabilidade físico-química, resistência, dureza e beleza estética natural incomparável.

Como material de acabamento, as rochas ornamentais estão sob a influência de modismos e das especificações dos arquitetos. Face à especificidade do material, de grande beleza estética e plástica, o granito e o mármore tem tido um mercado em alta mesmo ocorrendo crises econômicas, já que é nestes períodos que mais ocorrem investimentos em construções de alto padrão, exigindo materiais de primeira linha (CHIODI, 1995).

Internacionalmente, a indústria de construção civil e de edificações é o principal segmento consumidor do granito, respondendo por 80% do total demandado. Os demais 20% estão distribuídos pelos segmentos industriais voltados à construção de monumentos e à fabricação de objetos de arte e ornamentação. Todavia, nos diferentes mercados internacionais, nacionais e regionais, os percentuais de uso de granito variam em resposta a fatores intrínsecos de cunho cultural, social e econômico (VALE, 1997).

A tecnologia e os equipamentos empregados nesta indústria são, em sua maioria, de origem italiana, embora já se tenha, no Brasil, empresas construtoras de máquinas para serrar, polir e dar acabamento, de boa qualidade.

Países europeus têm tido a primazia na exportação mundial de beneficiados de granito, principalmente, a Itália, Espanha, Portugal e Grécia. Países como a China, Índia e Brasil vêm ameaçando essa hegemonia européia.

De um modo geral, há um deslocamento da indústria de granito para países em desenvolvimento, tanto por insuficiência de rochas de qualidade nos países mais desenvolvidos, quanto para preservação ambiental dos sítios geológicos naqueles países. Os países mais desenvolvidos têm mais recursos em moeda forte para suportar importações de material de construção, como o granito. Na Itália e Portugal, é comum a lavra subterrânea de rochas ornamentais para a preservação das paisagens originais (MELO 2004).

O setor de rochas ornamentais no Brasil tem potencialidade para crescer face ao ainda incipiente mercado interno, que pode ser incentivado a consumir este tipo de material de construção, substituindo a cerâmica, que hoje é usada em cerca de 80% das edificações (MELO 2004).

Dependendo de ações das empresas produtoras de beneficiados de granito na redução do custo de seus produtos, via produtividade e adoção de controle de qualidade total dos produtos, há possibilidade real de crescimento, no mercado interno, do consumo de produtos beneficiados de granito. O mercado interno forte e a produtividade são fatores alavancadores da competitividade das empresas no mercado externo, face ao potencial de produção, incentivador de economias de escala, de redução dos preços pelo volume produzido e pela exigência dos consumidores de qualidade nos produtos.

As rochas ornamentais beneficiadas geram incremento de cerca de 5 vezes ao do produto em bruto, vendido em blocos. Isto representa margens de ganho maiores para as empresas, com mais empregos, renda e impostos para o Brasil (DNPM, 2000).

É importante registrar a pouca disponibilidade de dados estatísticos consistentes, tanto nacionais quanto internacionais, sobre o tema. Muitos dos dados obtidos conflitam uns com os outros, além de

não se ter uma codificação padrão, válida internacionalmente, para registro dos dados específicos, gerando dúvidas em sua interpretação.

Para dar ao leitor, não acostumado com a terminologia, condições de entendimento do que se relata, faz-se, abaixo, uma breve caracterização de granito e seus beneficiamentos.

Granito - Rocha leucocrática de origem ígnea, consolidada a partir de um magma resultante de diferenciação magmática em profundidade, de granulação média a grosseira.

De um modo geral, granito é qualquer rocha não calcária ou dolomítica, que apresente boas condições de desdobramento seguido de polimento, apicoamento ou flameamento. Granito, genericamente, são as rochas silicatadas enquanto os mármore se enquadram em rochas carbonatadas (CALAES, 1995).

A extração de blocos para posterior beneficiamento é feita por diversas técnicas, dependendo da especificidade de cada frente de trabalho, em dimensões variando de 5m³ a 8m³, podendo atingir 12m³ em alguns casos. Quanto maior a peça maior o preço a ser alcançado pelo produto beneficiado. A operação de extração pode ser feita por explosão controlada, por corte com fio helicoidal e por choque térmico.

A partir daí é feito o requadramento para regularização do formato da peça, em forma de paralelepípedo, nas dimensões padrão para possibilitar maior produtividade nas serrarias. Nas serrarias, o bloco é serrado em chapas, na espessura requerida pelo cliente, normalmente 2 cm, a partir de três alternativas, quais sejam: teares com mistura abrasiva, teares de lâminas diamantadas e disco diamantado (talha-blocos). “Seguindo o caminho do beneficiamento, as chapas vão para as denominadas marmorarias” que fazem o aplainamento das chapas, o polimento, a lustração e o corte nas medidas requeridas pelo mercado/cliente.

Segundo Maximiano (1995) a ferramenta para enfrentar as diversidades impostas pelas circunstâncias mercadológicas é o enfoque sistêmico que possibilita entender a multiplicidade e a inter-relação das causas e variáveis dos problemas bem como organizar soluções.

Esse trabalho evidencia a importância do enfoque sistêmico como estratégia em marketing e produção, visualizando a organização como um todo. Observando a relação entre o marketing, o ambiente interno e externo, bem como toda a complexidade que constitui uma organização, o enfoque sistêmico visa estudar não somente uma variável, mas todo o conjunto, levando em consideração seu papel global na estrutura da empresa. Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar os aspectos competitivos da gestão industrial de marmorarias do estado da Paraíba.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho de pesquisa teve início a partir de um estudo exploratório de teórico e pesquisa de campo, onde se utilizou como instrumento de coleta de dados, um questionário que foi aplicado para 13 empresas de marmorarias e granitos do estado da Paraíba, distribuídas da seguinte forma: 4 empresas na cidade Campina Grande, 4 empresas na cidade de Cabedelo, 1 empresa na cidade de Guarabira, 1 empresa na cidade de Santa Rita e 3 empresas na cidade de João Pessoa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela I apresenta os resultados obtidos sobre o levantamento adquirido quanto a capacidade produtiva da empresa para os seus principais produtos.

Tabela 1 - Capacidade produtiva da empresa para os seus principais produtos

Produtos	Capacidade Produtiva Média Mensal Atual (m ²)	Capacidade Média Instalada (m ²)	Percentual de Ociosidade
Marmore	156	252	24%
Granito	293	552	24%
Marmores Sinteticos	53	121	27%
Outros*	61	122	29%

* silestone, quartzitos e Magic stone

Pode-se observar na Tabela I, que a maior capacidade produtiva média mensal atual em metros quadrados é a de granito com 293 m², logo em seguida vêm a do mármore, com 156 m², depois os mármore sintéticos com 61 m². O granito é o mais produzido, porém, é com o mármore que se obteve uma maior capacidade média instalada e os outros tipos de produtos com um maior percentual de ociosidade – 29%.

Foi realizado também um levantamento sobre a possível ampliação destas empresas para os próximos 3 anos. Constatou-se com este levantamento que 71% possível perspectivas de ampliação, enquanto 28,6% dos empresários deste setor não visualizam esta forma de crescimento. A Figura 1 apresenta os diversos tipos de ampliações desejadas pelos empresários deste setor.

De acordo com a Figura 1 observa-se que o desejo de novas instalações são desejadas por 32,4% dos empresários do setor. Com relação às ampliações das instalações atuais, apenas 21,6% relataram este desejo e se mostraram satisfeitos com a localização do seu empreendimento. Notou-se também que a aquisição de novas máquinas e equipamentos está relacionada com as ampliações atuais, 21,6%. Quanto à terceirização de parte do processo produtivo observou-se uma quantidade significativa de 24,3%, estes empresários acreditam que esta ação seria economicamente viável para a empresa. Foi questionado também para estes empresários sobre o percentual de aumento na produtividade que as empresas esperam com a ampliação dos seus estabelecimentos.

Todos foram enfáticos e responderam que a produtividade nas empresas é esperada em uma totalidade de 100% com o aumento da ampliação das mesmas. A Figura 2 apresenta a existência da sazonalidade no setor quanto à produção/comercialização.

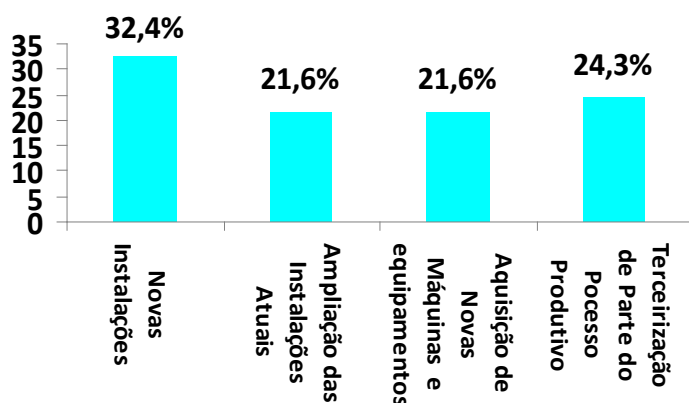


Figura 1 - Ampliações desejadas

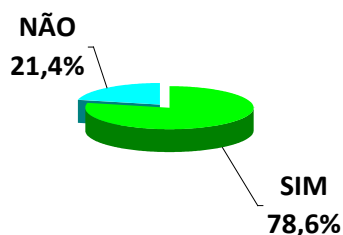


Figura 2 - Existência da sazonalidade no setor quanto à produção/comercialização.

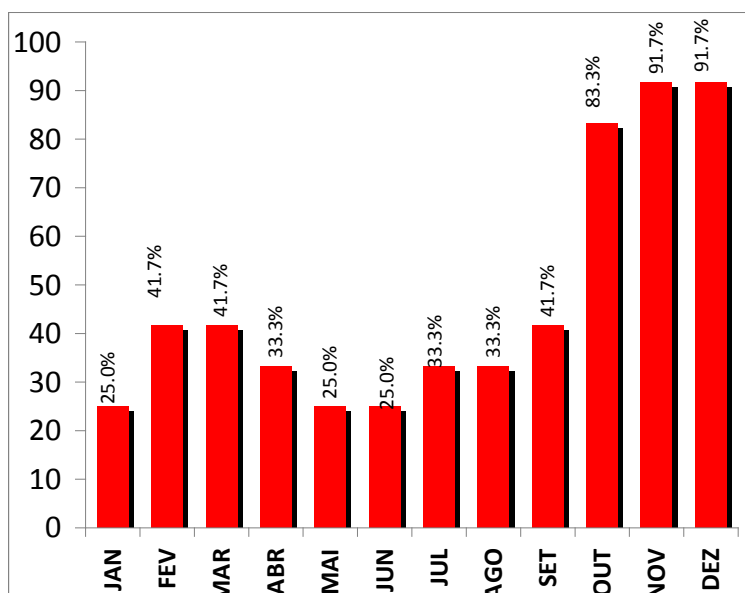


Figura 3 - Distribuição da produção durante o ano.

De acordo com a Figura 2 observa-se que 78,6% das empresas pesquisadas respondem que existe a sazonalidade no setor quanto à produção e/ou comercialização. A Figura 3 indica a distribuição da produção durante o ano.

Analisando a Figura 3 observa-se que os meses com maior intensidade em distribuição estão no último trimestre do ano: outubro (83,3%), novembro (91,7%) e dezembro (91,7%). E as distribuições com menor índice ficam nos meses de janeiro, maio e junho, todos com 25,0%.

Foi questionado também sobre a necessidade de consultoria e capacitação em gestão do processo produtivo, como resultado constatou-se que 92,8% das empresas pesquisadas necessitam deste tipo de trabalho. Quanto às atividades desenvolvidas nas empresas pode-se verificar na Tabela II que:

Tabela II - Atividades desenvolvidas nas empresas.

Produtos	SIM	NÃO
Programação de Produção	50%	50%
Controle de Produção	50%	50%
Controle de Estoques	50%	50%
Procedimentos rotineiros de Avaliação da Qualidade	71,40%	28,60%

De acordo com a Tabela II verifica-se que 50% das empresas dizem que há uma programação de produção, controle de produção e controle de estoque. E 71,40%, das empresas afirmaram ter procedimentos rotineiros de avaliação da qualidade. A Figura 4 ilustra como as empresas deste setor elaboram a sua produção.

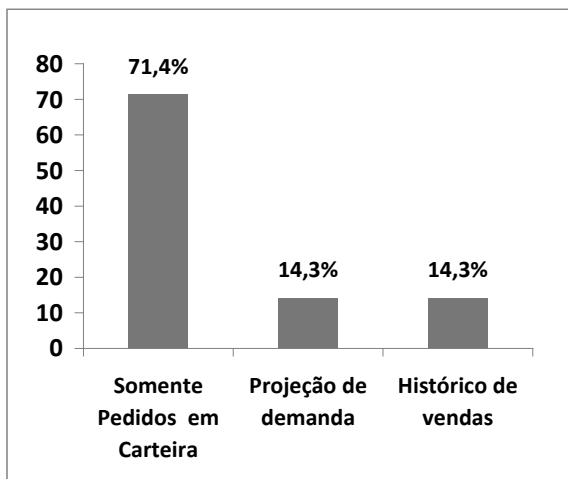


Figura 4 - Programação da produção.

De acordo com os dados obtidos na Figura 4 verifica que para estas empresas a sua produção não é feita de maneira aleatória, tem que ter uma programação como: pedidos, demandas e vendas. Nos pedidos, as empresas da Paraíba apresentaram 71,4% de pedidos para depois produzir, enquanto que na demanda e nas vendas obteve-se 14,3%.

Perguntou-se também se estas empresas tinham fichas técnicas para cada produto com especificações de matérias-primas, estrutura de componentes, medidas, pesos, entre outros. Constatou-se que apenas 21,4% possuíam este tipo de ficha técnica. Enquanto na maioria das empresas (78,6%) não existem fichas técnicas para cada produto com especificações de matéria-prima, entre outros. A Figura 5 apresenta dos dados obtidos sobre a implantação de certificação pelas empresas.

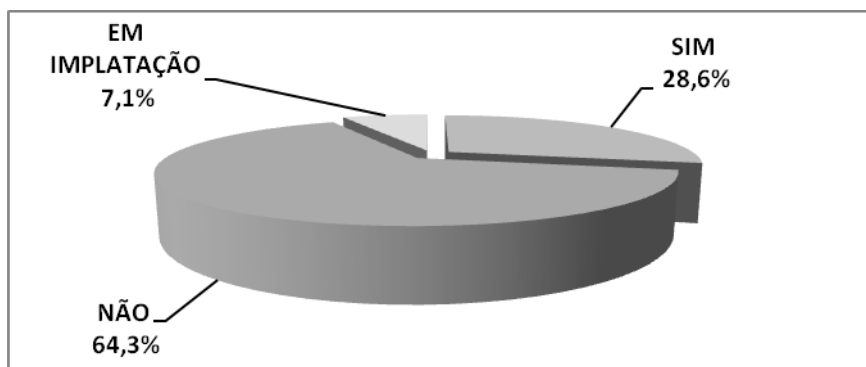


Figura 5 - Implantação de certificação.

Conforme a Figura 5 verifica-se que na maioria das empresas não há certificação (64,3%), enquanto 28,6% possuem certificação e 7,1% encontram-se em processo de implantação.

Um aspecto importante nas indústrias de marmorarias e granitos é a terceirização, neste trabalho de pesquisa foi constatado que apenas 35,7% destas empresas são terceirizadas. Já para os trabalhadores eventuais as realidades das empresas não diferem muito dos trabalhadores terceirizados, sendo ainda menor a porcentagem de trabalhadores (28,6%). Contudo, verificou-se num total que existem 25 trabalhadores que são terceirizados e 3 trabalhadores eventuais, quando somando todas as empresas. A Figura 6 refere-se à avaliação dos dois principais fornecedores.

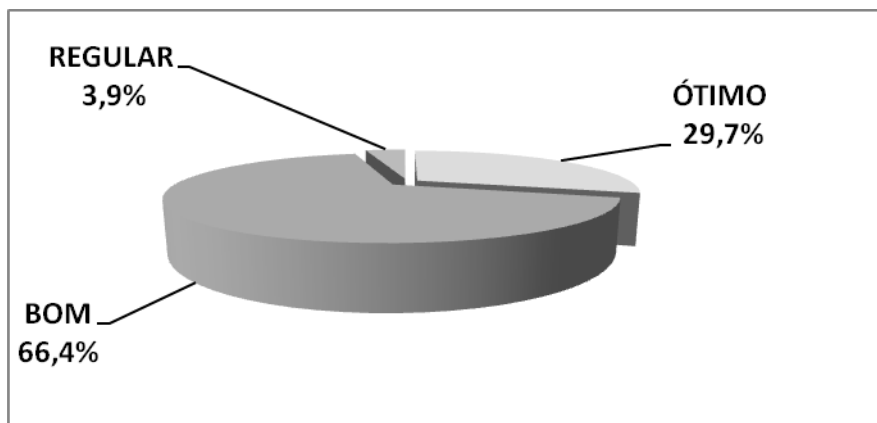


Figura 6 - Avaliação dos Fornecedores

De acordo com a Figura 6 observa-se que a maioria dos fornecedores, classifica-se como dos bons fornecedores (66,4%) e em algumas empresas afirmaram que seus fornecedores são ótimos (29,7%). Constataram-se ainda neste trabalho que 85,7% das empresas fornecedoras entregam os pedidos com qualidade e no horário combinado.

Quanto ao controle de qualidade da matéria-prima e seus insumos verificou-se neste caso que 100% das empresas controlam sua matéria-prima e seus insumos. O que é o certo, verificar a qualidade não somente no início da produção, mas também no meio e no final. Assim, com esta pesquisa, além de qualificar as empresas, os produtos, gera uma maior competitividade entre elas, beneficiando seus consumidores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

E importante pontuou a importância dos aspectos competitivos da gestão industrial de marmorarias do Estado da Paraíba, Observa-se também a estratégia de marketing como ferramenta imprescindível entre a organização e ambiente a fim de fortalecer a perspectiva estratégica organizacional priorizando seu foco estratégico, portanto foi possível concluir que:

A competição acirrada e o cenário mercadológico dos dias atuais trazem a emergência de ações estratégicas na condução da visão sistêmica, a fim de que as empresas possam prosperar.

O marketing, elo entre a organização e o mercado, desenvolve-se para melhor contribuir no processo estratégico organizacional para o alcance de metas. Além disso, observa-se que os resultados deste trabalho foram esperados, com perspectivas de ampliação das indústrias de marmorarias e granito.

Trabalhadores terceirizados e eventuais existem nas empresas, mas, em número menor. O maquinário e equipamentos são ampliados de acordo com a ampliação da empresa.

As empresas de marmorarias e granitos na Paraíba competem entre si numa concorrência acirrada em relação a produtos de boa qualidade, investimentos e outros fatores estudados nesta pesquisa.

A visão sistêmica e programada pode ser considerada uma importante ferramenta na estratégia de marketing a partir do momento em que a organização conhece, analisa, entende e modifica se necessário, processos e procedimentos em todas as áreas funcionais existentes na empresa, obtendo um conhecimento abrangente do sistema transformando-o em vantagem competitiva.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Gildo Sá de. **Rochas de Qualidade**, São Paulo, v.29, n..153, jul./ago. 2000.

CALAES, Gilberto Dias. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais**. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1995. v. 2: Mercado nacional.

CHIODI, Cid Filho. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. CNPq, n. 28, 1995.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 1997**. Brasília, 1997 pg. 20.

FERRAZ, João Carlos ; KUPFER, David ; HAGUENAUER, Lia. **Made in Brasil: desafios competitivos para a indústria**. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 386 p.

._____, João Carlos. **Estudo da competitividade da indústria brasileira**. Rio de Janeiro: MCT, 1996.

MAXIMIANO, Antonio César Amaru. 4. ed. Introdução à Administração. São Paulo: Atlas, 1995.

MELO I.S.C. Panorama setorial de rochas ornamentais do estado de São Paulo, **Revista Rochas de Qualidade** setembro/outubro de 2004 edição 154.

SUMÁRIO MINERAL. **Estudo sobre os minerais industriais: uma base georreferenciada- CETEM/MCT, 2000. DNPM/SEDE**. Disponível em: www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_X_jic.../Vinicia.pdf>. Acesso em 06 de novembro de 2010.

VALE, Eduardo. **Mercado internacional de rochas ornamentais**. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1997.

MINERAÇÃO AUTO-SUSTENTÁVEL: ESTUDO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO MUNICÍPIO DE VÁRZEA-PB

E.D. Sales¹, S.L. Sousa¹, T.W. Viana¹

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, PB, 58109-900. e-mail: diegosales__@hotmail.com

RESUMO

O termo sustentabilidade tem sido alvo de grande discussão em todos os ramos de pesquisa, mais que uma questão ambiental, esse assunto abrange uma ampla questão socioeconômica. Tendo em vista os impactos ambientais causados pela sua atividade, a mineração é tida como um desafio ao conceito de sustentabilidade. Mas, a cada dia, os êxitos dos projetos de sustentabilidade no setor mineral mostram que é possível unir mineração e desenvolvimento sustentável. Neste estudo, discutiremos o projeto de auto-sustentabilidade mineral realizado no município de Várzea - Paraíba/Brasil, tendo em vista confrontar a importância de tal projeto no ponto de vista das autoridades responsáveis pelo setor mineral da região e dos trabalhadores garimpeiros envolvidos na extração e comercialização mineral local, gerando assim uma discussão das novas dinâmicas e contradições no mundo do trabalho. Esse artigo foi desenvolvido através de um estudo de caso, realizado por meio de entrevistas com pessoas envolvidas nos diversos setores da atividade mineral do município. Foi através da análise das respostas obtidas na entrevista que destacamos dois grupos de pensamentos distintos quanto ao projeto de sustentabilidade no município, chegando a conclusão que devem ser realizados investimentos no setor mineral, na qualificação e conscientização ambiental dos garimpeiros, possibilitando assim a auto-sustentabilidade mineral da região.

Palavra chave: Meio Ambiente; Mineração; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em auto-sustentabilidade, aborda-se um assunto que, desde a conferência RIO-92, na qual se consagrou o conceito de sustentabilidade, tem sido discutido nos mais diversos campos de estudo. Segundo o conceito definido na RIO-92, o termo sustentabilidade é utilizado para se referir às ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. Em outros termos, sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material, sem agredir o meio ambiente, usando recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro (Barbosa,2008).

Tendo em vista toda esta importância da sustentabilidade, a cada dia os índices de projetos e pesquisa se multiplicam. De acordo com o getAbstract, principal serviço de resumos sobre livros técnicos recomendados para executivos, o termo sustentabilidade se tornou um dos temas mais focados na literatura de negócios. Entre os cerca de 5 mil títulos presentes no acervo, 460 volumes estão relacionados ao tema. A palavra sustentabilidade está no mesmo nível de procura que temas comuns como: “negociação”, “mercado de capitais”, “marketing” e “consultoria” (Smeraldi, 2009). Entretanto, poucas organizações conseguem efetivamente ultrapassar a barreira entre a pretensão e a efetivação.

Para Barbosa (2008) o conceito básico da sustentabilidade é o atendimento das necessidades das gerações atuais sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras possam desfrutar de bens que supram suas necessidades, mas o grande problema para questão da sustentabilidade é que muito se é falado, contudo há pouca prática quando se observa a realidade.

[...] fala-se muito em desenvolvimento sustentável, crescimento sustentável, sustentabilidade ambiental, sustentabilidade econômica, negócios sustentáveis, sustentabilidade ecológica, marketing

sustentável, e assim por diante. A verdade no entanto, é que poucos compreendem o que seja sustentabilidade. Alguns até sabem o que é, todavia evitam empregá-lo no seu dia a dia, há ainda os mais incoerentes que de um lado acenam com medidas pontuais relacionadas a sustentabilidade, mas de outro praticam atos que demonstram a falta de sintonia entre o que dizem e o que fazem.[...] (Barbosa, 2008)

A mineração é tida como uma das atividades mais impactantes ao meio ambiente, haja vista os diversos impactos que gera: degradação visual da paisagem, do solo, do relevo, alterações na qualidade das águas, transtornos gerados às populações que habitam o entorno dos projetos minerários e a saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento, conseqüentemente, apresenta-se como um desafio ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que retira da natureza recursos naturais exauríveis (Chiavaralotti, 2010). Esse fator tem feito com que os órgãos federativos responsáveis pela mineração no Brasil a exemplo do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), CETEM (Centro de Tecnologia Mineral), IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) desenvolvam políticas focadas em projetos de sustentabilidade, visando mitigar os impactos ambientais, o melhor aproveitamento desses recursos e a recuperação de áreas degradadas pela mineração.

Segundo a revista Guia Exame de Sustentabilidade (2010) essa política sustentável já tem obtido êxitos exemplos dentre algumas empresas mineradoras nacionais que já foram eleitas como empresas modelo de sustentabilidade. Provando que mesmo se opondo ao conceito de sustentabilidade a mineração saiu a frente no desafio de incorporar os conceitos de sustentabilidade no Brasil .

Hoje a “grande mineração” como é chamado o grupo de grandes mineradoras que atuam no Brasil tem atingido índices de grande importância para o processo de sustentabilidade. Alguns desses índices que merecem atenção mostram que 80% da água utilizada em todo o processo de extração e beneficiamento é reutilizada e que apenas 5% das áreas concedidas para a mineração tem sido explorada e mesmo nesses 5% tem se desenvolvido um processo de recuperação ambiental das áreas degradadas e nos outros 95% as empresas assumem a gestão territorial de espaços estratégicos para a conservação de recursos naturais e da biodiversidade (Penna, 2010).

No seridó Paraibano, o qual é dividido em Seridó Oriental Paraibano, composto pelos municípios de Frei Martinho, Nova Palmeira, Picuí, Cuité, Pedra Lavrada, Seridó, Tenório, Cubati, e Juazeirinho fazendo o total de 67.193 habitantes; e Seridó Ocidental composto pelos municípios Junco do Seridó, Salgadinho, Santa Luzia, Várzea, São Mamede e São José do Sabogí, o que somam uma população total de 38.370 habitantes. Entre as cidades citadas o município de Várzea que tem o total de 2.568 habitantes tem se destacado na atividade mineral a qual nesta região é bastante significativa, e desenvolve-se a cada dia, tanto do ponto de vista econômico, como dos trabalhadores garimpeiros que dependem do comércio extrativista mineral.

O agreste paraibano, notadamente no município de Várzea tem como uma de suas principais fontes de renda a mineração voltada para extração de quartzito (rocha metamórfica de dureza 7 que possui como principal mineral de sua composição o Quartzo), no qual tem sido desenvolvido um projeto de auto-sustentabilidade voltado para o setor mineral. Esse projeto tem se baseado no sistema de redes APL (Arranjo Produtivo Local) de base mineral, que são conjuntos significativos de agentes econômicos, políticos e sociais, localizados em um mesmo território, desenvolvendo atividades econômicas correlativas e que apresentam vínculos expressivos de produção, interação, cooperação e aprendizagem (Bezerra, 2011).

Em uma conversa informal com o professor e doutorando em Engenharia de Minas, Antônio Pedro Ferreira de Sousa ele afirmou que:

Na mineração nada é desperdiçado, tudo tem aproveitamento e se isso for posto em prática iremos reduzir ao máximo os impactos ambientais causados pela mineração. É esse o nosso objetivo no projeto aqui em Várzea, fazer com que todos os rejeitos do quartzito sejam aproveitados gerando mais uma fonte de renda para aqueles que trabalham na mineração.

E baseado nesse projeto desenvolvido no município de Várzea será analisado neste estudo a opinião de autoridades e de trabalhadores garimpeiros locais sobre tal projeto.

Por compreender-se que a sustentabilidade vai além das questões ambientais, envolvendo também a questão social e econômica, e tendo em vista a relevância do assunto na atualidade, foi desenvolvido esse estudo objetivando proporcionar um maior conhecimento sobre o que tem sido realizado no município com relação a esse empreendimento, desenvolvido no município, e sobre seu sistema de construção e planejamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo referido, foi realizado um estudo de caso no município de Várzea localizado no Seridó Paraibano, por meio de entrevistas com: o prefeito do município de Várzea, José Ivaldo Galego de Moraes; o presidente da cooperativa de mineradores (Coopervarzea) Carlos Henrique Lopes de Melo; o professor da UFCG e doutorando em engenharia de minas Antônio Pedro Ferreira de Sousa e também com Garimpeiros envolvidos na extração do quartzito.

Essas entrevistas foram realizadas através de dois questionários pré estabelecido, um aplicado às autoridades do município relacionadas ao setor mineral e outro aos garimpeiros, por se tratar de realidades diferentes se fez conveniente aplicar dois tipos de abordagem diferenciadas sobre essa temática.

Esses questionários tiveram caráter qualitativo, e foram composto por 5 perguntas. A análise das respostas dadas ao questionário possibilitaram perceber dois grupos de pensamentos distintos quanto ao processo de auto sustentabilidade: “Os que vêem a iniciativa da sustentabilidade mineral como a chave para o avanço mineral local” e “Os que pela precarização do conhecimento continuam submetendo-se á exploração humana e as péssimas condições de trabalho”.

Também foi parte indispensável para a realização de tal estudo a análise do projeto de implantação da rede de APL de base mineral que visa viabilizar o projeto de sustentabilidade de Várzea. Segundo Bezerra (2011), o projeto de APL em Pegmatitos da Paraíba no qual se inclui o município de Várzea, visa potencializar produção já existente na região aumentando assim a competitividade do setor produtivo, melhorando as condições de trabalho e minimizando os impactos ambientais ocasionados pela atividade mineradora na extração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto de auto-sustentabilidade mineral do município de Várzea começou a desenvolver-se no ano de 2007 a partir de uma iniciativa do CETEM em conjunto com a prefeitura municipal da cidade sob a coordenação do tecnologista Francisco Hollanda Vidal. Essa iniciativa tem se desenvolvido juntamente com a implantação do sistema de APL de base mineral de pegmatitos do Rio Grande do Norte e Paraíba.

O sistema de APL viabilizará ao município um amplo desenvolvimento no seu projeto de sustentabilidade mineral visto que proporcionará o aumento de sua produção e conseqüentemente a maior comercialização dos seus produtos. Um dos exemplos de sucesso da APL de base mineral é o da APL de rochas ornamentais, Quartzito de Pirenópolis – GO, que desenvolve um projeto de sustentabilidade onde conseguiram reduzir a quantidade de rejeitos sem utilização ao nível 0 e assim reduziram também os impactos ambientais causados pela mineração na região.

Tendo em vista o conceito de que sustentabilidade envolve questões socioeconômicas e ambientais, desenvolvemos nesse estudo, através das entrevistas realizadas, uma discussão de como têm se apresentado essas questões no contexto atual da mineração de Várzea, mostrando suas evoluções e os principais problemas que retardam o desenvolvimento do projeto no município.

3.1. Socioeconômica

A cidade de Várzea possui uma população de 2.568 Hab., dos quais cerca de 800 trabalham no processo de extração e beneficiamento do quartzito. Além de ser a maior fonte de geração de emprego e renda da região, gerando duas vezes mais emprego que o serviço público municipal, a mineração através da extração, beneficiamento e comercialização do quartzito, participa ativamente da movimentação econômica municipal.

Estima-se que a indústria de extração e beneficiamento de quartzito de Várzea movimenta algo em torno de R\$ 400 mil por mês e a faixa média de rendimento dos trabalhadores é de R\$ 800,00 a R\$ 1000,00 líquidos, o que torna a atividade mineral um atrativo para a população local.

Juntamente com a extração, se desenvolve o setor de beneficiamento do quartzito que conta hoje com 25 serrarias, empregando cerca de 200 pessoas, as quais beneficiam mensalmente cerca de 1000 metros quadrados de quartzito, que após beneficiados tem o aumento do seu valor comercial estimado na faixa de 3 a 10 vezes do valor da rocha bruta.

O grande problema socioeconômico que afeta o projeto de auto-sustentabilidade é a falta de investimento na capacitação da mão-de-obra e na conscientização dos trabalhadores garimpeiros, o que com certeza atrasa o desenvolvimento dessa iniciativa. Com base nesse problema, foi percebido dois grupos distintos de pensamentos em relação a o projeto de sustentabilidade mineral do município.

Grupo 1 - os que vêem a iniciativa da sustentabilidade mineral como a chave para o avanço mineral local: Nesse grupo estão envolvidos as autoridades do município que estão se dedicando para que esse projeto saia do papel e entre totalmente em atividade. Segundo o presidente da cooperativa, o projeto de aproveitamento dos rejeitos do quartzito já tem diretrizes que apontam para a produção de argamassa e também para produção de mosaicos de quartzito.

No caso da produção de argamassa como dito anteriormente já tem se desenvolvido um projeto piloto, sob a coordenação do Engenheiro Químico João Bosco, o qual já produz argamassa suficiente para pequena comercialização.

Já no caso dos mosaicos, o projeto tem se desenvolvido através de serrarias como é o caso da Serraria Pedras Itacolomy a qual faz parte da coopervarzea e já desenvolve um projeto de reaproveitamento da água utilizada no processo de beneficiamento do quartzito.

Para Carlos Henrique (Presidente da coopervarzea), a coopervarzea tem cumprido com seu papel e tem trabalhado na conscientização dos garimpeiros proporcionando-lhes cursos visando uma conscientização e melhoria da qualidade de trabalho.

Grupo 2 - os que pela precarização do conhecimento continuam submetendo-se à exploração humana e as péssimas condições de trabalho: Fazem parte desse grupo os trabalhadores garimpeiros no município de Várzea que vivem da extração do quartzito, e que buscam nesta atividade precária um retorno econômico rentável. De acordo com as informações obtidas através das entrevistas com esse grupo fomos informados de que a cooperativa só serve de “fachada” visto que a liderança não busca benefícios para os garimpeiros e não lhes dá assistência necessária para que possam ter uma boa qualidade no trabalho.

Conforme informações obtidas através do garimpeiro João Bosco, ele não sabia nem que existia um projeto que possibilitasse o aproveitamento dos rejeitos do quartzito, que segundo até hoje são empilhados no meio ambiente. Esse acúmulo de rejeitos no meio ambiente provoca diversos impactos que causam não só a poluição visual como tem tornado o solo na região mais árido por não possibilitar a penetração das águas da chuva.

Como ele muitos outros foram contatados e externaram a falta de informações sobre os projetos implantados, bem como da falta de capacitação e auxílio perante as autoridades locais para um melhor ambiente de trabalho.

A falta de assistência por parte da cooperativa no tempo de chuva quando por falta de um projeto de drenagem da água, as jazidas ficam impossibilitadas de serem exploradas, fazendo com que os garimpeiros desenvolvam outra maneira de completar a renda familiar. Uma das alternativas utilizadas são a agricultura familiar, que por um certo período acabam por ser o único meio rentável e seguro para os trabalhadores.



Figura 1 - Problema de alagamento das jazidas enfrentado nos períodos chuvosos. Foto: Diego Sales, Junho/2011.

3.2 Ambiental

A questão ambiental, como já foi dita anteriormente, se fundamenta como um dos princípios para o desenvolvimento de um projeto sustentável, tendo em vista o conceito de sustentabilidade, definido na RIO 92. Além disso, é no contexto ambiental, que tem se apresentado o maior problema para o projeto de sustentabilidade de Várzea.

Durante a chegada ao município de Várzea, se tornou evidente, na paisagem observada que ali era o local ideal para o desenvolvimento desse estudo, um conjunto de empilhados de rejeitos de quartzito apresentava um dos principais obstáculos para o desenvolvimento da sustentabilidade no município. Ao

entrevistar o prefeito municipal de Várzea, e o presidente da cooperativa de garimpeiros da cidade (coopervarzea), foi confirmado aquilo que tinha sido constatado na chegada ao município: “os rejeitos do quartzito têm se destacado como prioridade no projeto de sustentabilidade do município, onde já temos um projeto modelo de aproveitamento desses rejeitos para fabricação de argamassa” (Carlos Henrique Lopes de Melo).

Quando questionados sobre os trabalhos realizados na conscientização ambiental e melhoras para essa classe trabalhista, constatamos as contradições entre as propostas e projetos estabelecidos com a realidade vivenciada diariamente pelos garimpeiros do município. Poucos são os que têm conhecimento a respeito das questões ambientais e legislação trabalhista, bem como poucas foram as frentes de lavra beneficiadas pela cooperativa com maquinários que facilitam a extração mineral. Confrontam-se então os interesses políticos com a implantação do projeto de sustentabilidade e a classe até então pouco beneficiada: os trabalhadores garimpeiros.



Figura 2 - Garimpeiros trabalhando sem uso de EPI's e sem maquinário adequado. Foto: Diego Sales, Junho/ 2011

É exatamente aí que se necessita da prática efetiva do projeto, notadamente observa-se um dos grandes benefícios do sistema de APL de base mineral do projeto de sustentabilidade da cidade de Várzea, visto que um dos principais objetivos desse sistema é a utilização dos rejeitos minerais, para um melhor aspecto visual, bem como dos incentivos aos garimpeiros para uma melhor condição de trabalho e a conscientização de uma sociedade voltada na prática da sustentabilidade ambiental como um meio efetivo na modificação geográfica do trabalho .

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos durante este estudo, foi concluído que um projeto de sustentabilidade para obter êxito não deve apenas se preocupar com as questões teóricas e convencionais do conceito de sustentabilidade, mas a preocupação deve estar voltada principalmente a questão de apoio aos garimpeiros responsáveis pela extração mineral, proporcionando-lhes uma melhor qualidade de

trabalho e conscientização a respeito das questões ambientais, pois se a preocupação ambiental começar na minimização dos impactos ambientais vai acontecer de forma mais rápida e eficaz.

No entendimento de Lessa e Tonet (2007), “o trabalho é o fundamento do ser social porque transforma a natureza na base material indispensável ao mundo dos homens”. Para os autores o trabalho possibilita não só a transformação da natureza e dos homens, mas construção de novas situações históricas num movimento contraditório.

No entanto para a transformação de novas situações históricas dentro do contexto socioambiental, se faz necessário uma ação mais eficaz de seus coordenadores, tendo em vista potencializar a capacidade econômica da mineração e conscientizar todos os setores da atividade mineral local para que esse projeto não se torne mais um que apenas acenam com medidas pontuais, mas de outro lado praticam atos que demonstram falta de sintonia entre o que dizem e o que fazem.

REFERÊNCIAS

Barbosa, A., (2008), Educação ambiental dificuldade e sustentabilidade, Recanto das letras, Disponível em: < <http://www.recantodasletras.com.br/artigos> > Acesso em 23 Setembro 2011.

Bezerra, A., (2011), Disponível em < www.redeaplmineral.org.br > Acesso em 22 Setembro 2011

Chiavaraloti, R., (2010), Sustentabilidade: uma idéia boa, mas não uma tarefa fácil, Disponível em: < www.revistasustentabilidade.com.br/.../sustentabilidade-uma-ideia-boa-mas-nao-uma-tarefa-facil-por > Acesso em 23 Setembro 2011

Guia Exame de Sustentabilidade 2010. Os destaques da pesquisa. Editora Abril.2010

LESSA, S. e TONET, I., (2007), Introdução à filosofia de Marx, São Paulo: Expressão Popular. 108p

Penna, P., (2010), Licenciamento ambiental devia atestar sustentabilidade das empresas, Disponível em < www.ibram.org.br > Acesso em 22 Setembro 2011.

SMERALDI, J., (2009), O novo manual de negócios sustentáveis, São Paulo: Publifolha.. 204p

ROCHAS ORNAMENTAIS NA ARQUITETURA

ACÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOBRE PLACAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONÁTICAS NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES LITORÂNEAS DO RECIFE - PE

Suely Andrade da Silva¹, Felisbela Maria da C. Oliveira², Evenildo Bezerra de Melo²,
Renata Barreto Santos² Farah Diba da Silva²

¹ Universidade Federal do Ceará - suelyandradeufc@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco - felisbela.oliveira@ufpe.br

³ Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

Os particulados e/ou aerossóis são poluentes prejudiciais para as rochas de revestimentos. Definidos como uma mistura de partículas suficientemente pequenas dispersas na atmosfera sob a forma de sólidos ou de líquidos e podem ser produto da nebulização de substância líquida ou sólida ou da condensação da fase gasosa (queima de combustíveis fósseis, indústrias). Fluxos de calor e de vapor entre a atmosfera e a rocha favorecem ou impedem o depósito na superfície de gases e partículas, e promovem o ingresso de vapores para o interior das rochas, que facilitam migrações de sais, formação de eflorescências, microfaturas, perda de brilho, manchas e desenvolvimento de organismos. O SO₂ produz as crostas negras dos monumentos de rochas calcárias e de diferentes rochas. O CO₂, em excesso, impede que parte do calor terrestre vá para o espaço, e também acidifica as chuvas. A preservação do lustro e a susceptibilidade ao intemperismo dos “mármore” “Travertino” ou “Bege Bahia, dependem da composição mineralógica. A calcita e/ou dolomita são os minerais dominantes: a vulnerabilidade se manifesta no domínio físico, em decorrência da baixa dureza (na escala de Mohs: 3 para calcita, e 3,5 para dolomita) e no químico, onde a reatividade com produtos ácidos (inclusive a própria chuva) resulta em perda de reflectância e dissolução. É um calcário sedimentar algálico, micrítico a micro-esparítico, com nucleações de glomérulos oriundos da fragmentação e retrabalhamento hidrodinâmico de lâminas algálicas com focos irregulares de recristalização, disseminação difusa ou pontual de óxidos de Fe e, cavidades cársticas. As oscilações diárias da umidade relativa, no Recife, maiores e menores do que 75%, favorecem a cristalização e dissolução dos sais, sendo condições ideais para processos de alteração nos revestimentos, observados na orla, como destacamentos líticos, eflorescências, desagregações e manchas. Os “mármore”, principalmente os calcários sedimentares, apresentam alterabilidade precocemente e arenização, (mais de 5 anos).

Palavras-chave: Aerossóis marinhos, alterabilidade, revestimentos carbonáticos, “spray” marinho.

1. INTRODUÇÃO

Os particulados ou aerossóis integram a lista dos elementos poluentes mais prejudiciais para as rochas de revestimentos. Podem ser definidos como uma mistura de partículas suficientemente pequenas dispersas na atmosfera sob a forma de sólidos ou de líquidos (em gotas), como produtos de nebulização de substâncias líquidas ou sólidas (*spray* marinho ou tempestade de poeira) e da condensação da fase gasosa (fumaça produzida pelas indústrias). Assumem, ainda, importância relevante as pequenas diferenças espaciais que criam gradientes entre a atmosfera e a rocha, como também as variações temporárias destes gradientes que, por sua vez, criam processos de degradação relacionados com diferentes tempos de adaptação entre a atmosfera e a rocha. Deste modo geram-se fluxos de calor e de vapor entre o ambiente e a rocha. Muitas vezes são estes fluxos que favorecem ou impedem o depósito na superfície de gases e partículas, que promovem o ingresso de vapores para o interior das rochas, que facilitam migrações de sais, a formação de eflorescências, microfaturas, perda de brilho, manchas e a criação de condições adequadas ao desenvolvimento de organismos diversos. A presença simultânea na atmosfera contaminada do Cl⁻ e demais elementos têm um efeito sinérgico na degradação das rochas

e monumentos. O SO_2 deixa como vestígio as crostas negras tão típicas nos monumentos construídos com rochas calcárias e que são encontradas, também, nos revestimentos de edifícios com placas dos mais diferentes tipos de rochas. O CO_2 é um componente do ar atmosférico, mas quando presente em excesso devido à queima de madeira, carvão, papel e outros materiais, impede que parte do calor terrestre seja irradiada prontamente para o espaço, devido à absorção da radiação infravermelha, sendo responsável pelo efeito estufa. Aqui cabe dizer que o excesso de CO_2 , combinado com a água de chuva contribui para a formação de ácido carbônico que, embora fraco, atua diuturnamente sobre os materiais pétreos alterando-os.

Os danos detectados nos revestimentos de fachadas e de monumentos podem advir de diversas substâncias químicas, existentes na forma de gases (aproximadamente 90%, em peso, dos poluentes), líquidos (aerossóis) ou particulados. Podem ser lançados diretamente no ar (poluentes primários) ou podem ser criados no ar (poluentes secundários), a partir de outros poluentes sob a influência da radiação eletromagnética do sol. O resultado das reações entre estes contaminantes é danoso para os materiais pétreos, provocando em alguns casos o colapso total dos mesmos.

Nas zonas costeiras, a principal fonte de substâncias dissolvidas é o “spray” marinho. O arrebentamento das ondas liberta para a atmosfera pequenas gotículas de água, ocorrendo precipitação dos sais nelas contidos durante a sua evaporação (Drever, 1998) pelo que, no litoral, a composição da precipitação é semelhante à composição da água do mar. À medida que se adentra no continente, diminui a concentração dos elementos derivados do “spray” marinho. A evaporação da água das gotículas produz aerossóis com diferentes tamanhos. As partículas maiores atingem dimensões da ordem de $10\mu\text{m}$ e retêm a composição das gotículas parentais. Pelo contrário, nas de menores dimensões ocorre modificação da composição química inicial. Com efeito, pode haver evaporação do cloreto sob a forma de HCl, provocando depleção neste elemento relativamente ao sódio. O cloreto de sódio é um importante componente dos “sprays” marinhos.

Segundo BERNER e BERNER (1987), os aerossóis repartem-se, em geral, como 27% de sais marinhos transportados pelo vento, 17% de sulfatos solúveis, nitratos e amônia, formados por emissões gasosas naturais ou antropogênicas, e 41% como poeiras de solos e rochas. Estas percentagens podem ser muito variadas tanto no espaço como no tempo. Os aerossóis incluem ainda uma pequena participação de particulados produzidos em incêndios florestais, em atividades agrícolas, ou derivadas de emissões antropogênicas diretas e por hidrocarbonetos (LANGMUIR, 1997).

No Brasil, país de extensa costa ocupada por cidades com larga densidade urbana, esta circunstância assume papel relevante na alteração dos revestimentos em função de altos índices de corrosividade. Os danos em rochas (graníticas e mármore) expostas nestes ambientes resultam da acumulação de sais, o que é controlado pela migração das soluções salinas através da rede de poros das rochas. Este processo se inicia pela penetração das águas das chuvas, pelas condensações da umidade, ou por águas de capilaridade provenientes do solo, resultando em migração no sistema poroso das rochas até ocorram processos de evaporação. Quando migram de dentro para fora da rocha, elas (as soluções salinas) lixiviam e transportam para as superfícies componentes das rochas e da alvenaria, e dissolvem depósitos atmosféricos encontrados na superfície das mesmas. Em ambientes próximos ao mar, os sais depositados em rochas podem ser provenientes da névoa salina ou de soluções salinas oriundas dos solos (ou da própria rocha). Porém, se estas rochas apresentarem características idênticas e exposições equivalentes, ainda assim elas podem apresentar diferentes formas de alterabilidade.

MEHTA e MONTEIRO (1994) descrevem que a maioria das águas marítimas é razoavelmente uniforme quanto à composição química. No oceano Atlântico, o teor total médio de sais é de 35 ‰ (35 g/l). A quantidade dos principais íons, contidos nas águas oceânicas, é indicada na Tabela I

Tabela 1 – Principais íons do Oceano Atlântico

Íons	Concentração dos íons (mg/l)
SO ₄	2.800
Mg ⁺⁺	1.300
Ca ⁺⁺	400
Cl ⁻	19.900
Na ⁺	11.000
K ⁺	400
pH	>8

Conforme FORSCHHAMMER (s.d. *apud* BICZÓK, 1972), a composição da água do mar em relação aos sais é mostrada na Tabela II.

Tabela 2 - Composição da água do mar FORSCHHAMMER (s.d. *apud* BICZÓK, 1972)

Sal	g/1000 ml de água	% em relação ao sal total
Cloreto de sódio	26,9	78,32
Cloreto de magnésio	3,2	9,44
Sulfato de magnésio	2,2	6,40
Sulfato de Cálcio	1,3	3,94
Cloreto de cálcio	0,6	1,69
Outros (Sulfato de potássio, Bicarbonato de cálcio, etc.)		0,21
Total	34,3	100,00

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na Região Metropolitana do Recife, capital de Pernambuco, na costa do Nordeste brasileiro, banhada pelo Oceano Atlântico. Recife nasceu na foz dos rios Capibaribe e Beberibe. Além dos rios, Recife possui inúmeros canais e pontes, e por isso é conhecida como a “Veneza brasileira”. A temperatura média anual da área é de 24 °C, variando entre a mínima de 18 °C e a máxima de 32 °C, sendo fortemente influenciada pela ação dos ventos dominantes, os alísios de SE (quentes e secos) e NE (quentes e úmidos). A pluviosidade é elevada, cerca de 2000 mm/ano, concentrada nos meses de maio a agosto. O ambiente litorâneo de Recife conta com uma população de mais de 100 mil habitantes distribuídos entre os bairros de Boa Viagem, Pina e Brasília Teimosa. As praias da Boa Viagem e do Pina têm uma área de 57,48 hectares e cerca de 8 km de extensão. A área tem como limites: ao norte, o bairro de Brasília Teimosa; ao sul, a praia de Piedade, pertencente ao município de Jaboatão dos Guararapes; a leste, o Oceano Atlântico e a oeste o bairro de Boa Viagem, o parque dos manguezais, o canal do Rio Jordão e o canal Setubal. Está numa região com latitude entre 8° 05' 02" S e 8° 08' 06" S e longitude entre 32° 52' 02" W e 34° 53' 47" W.

3. METODOLOGIA

3.1 Seleção e coleta de amostragem

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi feita uma visita à área para viabilizar as atividades de campo, demarcar os pontos de coletas, registro de fotografias e criar condições para realização das etapas laboratoriais das amostras coletadas *in loco*. Foram observados os vários revestimentos em prédios localizados em avenida litorânea. Foram considerados aqueles de natureza carbonática tal qual o Mármore Branco e Travertino, que apresentam boa frequência de aplicação. Os critérios para seleção das placas pétreas estudadas foram a composição mineralógica, no caso material carbonático, grau de alteração, e a degradação das placas pétreas do revestimento. A qualificação e/ou quantificação das alterações mineralógicas ocorridas foram realizadas por meio de análises petrográficas. Também foram considerados os tempos de aplicação dos revestimentos nas fachadas das edificações, que variaram entre 5 e 20 anos. Amostras de material usado, retirado durante reparos, foram usadas para obtenção de lâminas petrográficas.

3.2 Análise petrográfica

A descrição petrográfica, envolvendo a identificação mineralógica e feições texturais das rochas, foi feita com a utilização de um microscópio Olympus BX40, dotado de sistema digital fotomicrográfico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características mineralógicas dos litotipos analisados (Tabela III) mostram que os materiais carbonáticos, mármore e calcários, são predominantemente calcíticos. O material Mármore Branco foi designado por MBC e o Travertino por BB.

Tabela 3 - Composição mineralógica dos litotipos estudados, expressa em porcentagem.

Minerais	Calcita	Acessórios	Designação	Cor predominante
Bege Bahia	97	3	BB	Bege
Mármore Branco	98	2	MBC	Branco

As principais formas de intemperismo observadas no mapeamento de fachadas foram perdas de massa, descoloração, depósitos secundários, desintegração, fissuras, oxidação e eflorescências. A perda de massa se manifesta através da alteração parcial da rocha, modificações morfológicas de superfície (relevo áspero). Os depósitos estão relacionados com a formação de crostas claras com eflorescências salinas, representadas pela precipitação de material carbonático, manchas negras relacionadas com agregação de fuligem e poeira urbanas, biofilmes escuros com colônias de microflora e/ou microorganismos, além de plantas superiores. As eflorescências estão relacionadas com a dissolução e precipitação do cimento industrial utilizado em várias tentativas de fixação de peças danificadas (Figura 1). Uma das manifestações mais raras são as fissuras, representadas por superfícies irregulares de descontinuidade físicas, não relacionadas com a estrutura interna da rocha.



Figura 1 – Ocorrências de patologias em edificação localizada na região litorânea do Recife.

Em condições naturais, rochas de superfície ou de subsuperfície, ou seja, ainda sob influência térmica da insolação, desenvolvem alterações supergênicas. Alterações físicas resultam dos diferenciados coeficientes de dilatação dos vários minerais constituintes das rochas, cuja atuação diuturna resulta em ininterrupto processo de dilatação-contração-dilatação, criando tensões nas estruturas cristalográficas e, desta forma, provocando microfissuramentos. A intensidade deste fenômeno é proporcional à exposição da rocha à insolação e quanto maiores forem os contrastes térmicos diuturnos. Tal processo está nos primórdios da fragmentação (“arenização”) das rochas e, inevitavelmente, também é exercido em placas lustradas, particularmente aquelas que compõem fachadas.



Figura 2 - Aspecto de fachada com revestimento de “Bege Bahia”, com 20 anos de exposição. Notar a segregação secundária (detalhe) resultante da mobilização e reprecipitação de Fe sob influência intempérica.

No caso dos mármore, particularmente do produto comercial “Travertino” ou “Bege Bahia”, os problemas de preservação do lustro e sua vulnerabilidade ao intemperismo, estão vinculados primariamente à composição mineralógica desta rocha. Efetivamente, como calcita (CaCO_3) e/ou

dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) são os minerais dominantes em mármore, a vulnerabilidade das suas placas se manifesta acentuadamente tanto no domínio físico quanto no químico. No primeiro caso, em decorrência da baixa dureza destes minerais (na escala de Mohs: 3 para a calcita, e em torno de 3,5 para a dolomita), o que recomenda a não destinação de mármore para pisos. No segundo caso, a vulnerabilidade resulta da forte reatividade com produtos ácidos (inclusive a própria chuva) o que resulta, ao cabo de 5 a 20 anos, em perda acentuada de reflectância do lustro original.

A chuva ácida, pH menor que 5,0, é gerada a partir da poluição atmosférica, devido à grande concentração de monóxido de carbono lançada na atmosfera a partir da combustão incompleta de combustível fóssil. Essa quantidade exacerbada de CO, através de reações na atmosfera, produz CO_2 que ao se combinar com a água produz ácido carbônico (H_2CO_3), que ataca o carbonato de cálcio (CaCO_3) que constitui os mármore. Apesar da frequente aplicação desses produtos em fachadas, esta seria sua destinação menos recomendável. Este litotipo é na realidade, uma rocha sedimentar do tipo calcário algálico (ou travertino), micrítico a micro-esparítico, com nucleações constituídas de glomérulos oriundos da fragmentação e retrabalhamento hidrodinâmico de lâminas algálicas com focos irregulares de recristalização, disseminação difusa ou pontual de óxidos de Fe e, frequentemente, cavidades cársticas (Figura 3).

Em observação petrográfica, a textura micrítica do “bege Bahia” se mantém mais ou menos íntegra, porém com nítido aspecto “rugoso e sujo” ao cabo de anos de exposição do produto ao intemperismo (Figura 4). Nestas circunstâncias, a remobilização do Fe (difuso e não perceptível à observação macroscópica) produz nucleações localizadas, cada vez mais freqüentes e expandidas, terminando por formar filetes de escorrimento em razão da reprecipitação de Fe, perfeitamente visíveis a olho nu e até mesmo à distância (Figura 2). Dependendo da intensidade dos agentes intempéricos (chuvas ácidas, por exemplo) suas placas podem perder drasticamente a reflectância, ao cabo de 15 anos.

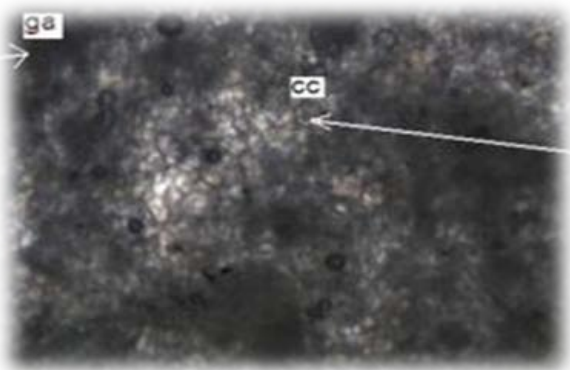


Figura 3 - Aspecto petrográfico geral do calcário travertínico “Bege Bahia”, observando-se glomérulosalgálicos (ga) imersos em cimento carbonático (cc). Lâmina petrográfica de rocha sã, LN/80x.

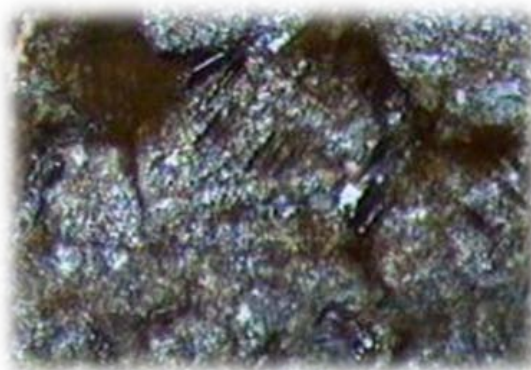


Figura 4 - Superfície de núcleo de recristalização do “Bege Bahia”, em placa com 10 anos de exposição ao intemperismo. Notar o aspecto notoriamente “sujo” dessa superfície quando comparado com as condições originais de lustro (figura 3).LN/80x

Rochas ornamentais aplicadas em fachadas sofrem inevitavelmente os efeitos do intemperismo, particularmente da contaminação atmosférica (gases corrosivos da combustão de derivados de petróleo, chuva ácida, spray marinho). Trata-se de um fenômeno previsível e inevitável ao longo dos anos, dependendo da intensidade de interferência dos fatores intempéricos, e resultam principalmente em perdas de reflectância. Em função de suas constituições mineralógicas, placas de “mármore” são particularmente mais vulneráveis que as de “granitos” (figuras 5 e 6).



Figura 5 - Aspecto petrográfico de superfície de calcário cristalino (mármore) recentemente lustrado, de pedreira em clima semi-árido. Notar a limpidez geral dessas superfícies e a quase inexistência de preenchimentos (em óxidos de Fe) das clivagens dos minerais (calcita). LN/80x.

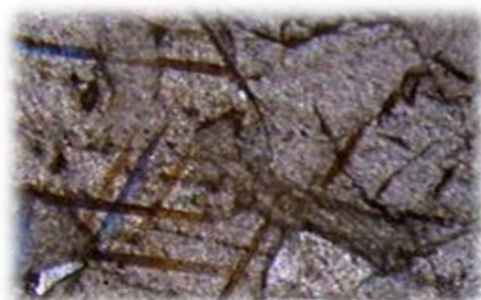


Figura 6 - Aspecto petrográfico da superfície de mármore branco, de placa exposta ao intemperismo durante 5 anos. Notar o preenchimento de clivagens da calcita (óxidos de Fe e/ou particulados finos em geral), e a perda de reflectância da superfície, comparada com a figura 5. LN/80x.

Em ambientes poluídos, estão presentes na atmosfera óxidos de enxofre e se forma ácido sulfúrico que embora forte, devido à grande quantidade de água da chuva e presença elevada de umidade, em climas tropicais úmidos e zonas costeiras, apresenta-se bastante diluído. Sua ação é, portanto, mais fraca. Quando este ácido cai sobre uma rocha cujos minerais contenham carbonato de cálcio (calcita, por exemplo), reage com eles para produzir sulfato de cálcio bi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ou gipsita. Grande parte deste produto assim formado é removida pelas águas de chuva. Entretanto, devido à porosidade e microfissuras da rocha, as águas da chuva podem penetrar na placa pétreia, e em seguida evaporar: a gipsita (sulfato de cálcio bi-hidratado) pode cristalizar e contribuir, através do crescimento de cristais (que geram tensões no interior dos poros da rocha), para a desintegração física da pedra através de um processo conhecido como degradação ambiental salina. (B.J. Smith & J.P. McGreevy, 1999).

Existem diversos mecanismos pelos quais os sais podem danificar as pedras. Quando as pedras são molhadas pela chuva ou pela condensação, os sais são dissolvidos e transportados para o interior dos poros. Assim que a secagem começa, a evaporação origina o crescimento de cristais, o qual pressiona os grãos circundantes. Enquanto a solução de sais dentro das bolsas de cristais se mantiver saturada, estes continuarão a crescer contra a pressão confinante da pedra envolvente. Os umedecimentos e secagens repetidos e as resultantes expansões e contrações podem, eventualmente, conduzir a uma rutura física da pedra. Para além das pressões de cristalização, existem sais, entre eles o sulfato de cálcio, que reagem a variações críticas de temperatura e de umidade relativa, pela absorção ou libertação de moléculas de água. Esta hidratação e desidratação obrigam os sais a expandirem e contraírem, o que também pode exercer pressões sobre a pedra envolvente. O que torna este mecanismo importante é que esses limiares de temperatura e de umidade podem ser atravessados diversas vezes durante um só dia, produzindo numerosos ciclos de expansão e contração que levam à fadiga da pedra. Finalmente, se os poros estiverem cheios com sais que tenham elevados coeficientes de expansão térmica, mais elevados que o da pedra, o subsequente aquecimento irá obrigar os sais a expandirem mais rapidamente e a exercerem pressão sobre a pedra envolvente. Existem algumas dúvidas sobre a real eficácia da expansão térmica diferencial, mas ela pode perfeitamente contribuir para o colapso, mesmo que outros mecanismos também estejam presentes. (B.J. Smith & J.P. McGreevy, 1999).

A gipsita é o sal mais frequentemente produzido nas rochas carbonáticas quando o ambiente poluído é rico em óxidos de enxofre. Através de reações complexas, o ácido sulfúrico (H_2SO_4), mobiliza o cálcio presente na calcita (CaCO_3) e forma a gipsita. Este sal formado é bem mais solúvel que os carbonatos: calcita e/ou dolomita presentes nos mármore. A alteração das pedras acontece, pois, como um processo de dissolução.

Assim como o ácido sulfúrico gerado a partir da poluição atmosférica pelos óxidos de enxofre, o ácido clorídrico pode ser produzido, em ambientes litorâneos, a partir de reação do cloreto de sódio (NaCl) marinho com ácido sulfúrico obtido da oxidação do SO₂. A maresia ou “spray marinho” é constituído de gotículas micrométricas que contém NaCl. Este é um ácido forte (HCl) que, por causa da umidade costeira elevada, apresenta-se diluído e, por conseguinte, sua ação é menos intensa. Entretanto, no caso dos revestimentos em materiais carbonáticos, o efeito deste ácido é bastante intenso em virtude da solubilidade dos carbonatos (calcita, dolomita) em face deste produto.

5. CONCLUSÕES

Os edifícios vistoriados apresentaram algum tipo de alteração. Por ordem de importância, as principais foram: manchas (37%), perda de brilho (25%), perda de massa (13%), oxidação (10%), eflorescências (5%), fissuras (5%), crostas negras (4%) e fungos (1%). Estas patologias tornam-se intensificadas pelo regime climático tropical e por problemas de cristalização de sais nas microfissuras das rochas, além da abrasão por particulados transportados pelo vento (contribuindo para maior perda de brilho).

O resultado final deste estudo ressalta a importância do reconhecimento geológico dos materiais pétreos empregados nas edificações, tanto para permitir a escolha dos materiais mais adequados como na busca de soluções de conservação e manutenção das edificações. Em ambientes litorâneos os danos causados pela acumulação de sais, em razão do “spray” marinho, exigem uma sucessão de transferências de fases gasosas e líquidas.

As condições climáticas de Recife favorecem a ocorrência e alternância natural destes ciclos. Consideradas, ainda, as oscilações diárias da umidade relativa, com valores maiores e menores do que 75%, que favorecem a cristalização ou a dissolução dos sais, temos reunidas as condições ideais para desencadear processos de alteração nos revestimentos. Tais circunstâncias e suas consequências são facilmente observadas nas rochas de revestimento encontradas na região da orla, materializando-se como destacamentos líticos, eflorescências, desagregações e manchamentos.

Os materiais de constituição carbonática geram graves problemas de alterabilidade e devem ser aplicados, prioritariamente, em uso interno. O aumento da poluição atmosférica, gerado principalmente pela ação antrópica, tem produzido gases que geram ácidos que aceleram a degradação das rochas e dos monumentos. Cada poluente tem uma ação importante e o conhecimento dos mecanismos desses processos objetiva evitar a instalação de patologias e danos à construção e monumentos.

Em síntese, estes seriam aspectos restritivos comuns aos “mármore”, notadamente no caso de calcários sedimentares. Estes produtos apresentam alterabilidade precocemente, por vezes com menos de 5 anos de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS L., 1991. Alteração e alterabilidade de rochas. Lisboa, Univ. Técn. Lisboa/Inst. Nac. Invest. Cient., 384 pp.

ARTUR, A.C., MEYER, A.P., WERNICK, E. 2001. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, I Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Salvador, Anais... Salvador(Museu Geológico da Bahia), 2:13-19.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. **The Global Water Cycle: Geochemistry and Environment**. Cap. 3: Rainwater and Atmospheric Chemistry. Ed. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 396 p., (1987).

B.J. Smith & J.P. McGreevy, 1999). Degradação da pedra urbana e deposição ácida : uma introdução ao problema e às suas causas. School of Geography, Queen's University Belfast, Belfast. 12p.

CHABAS, A. & JEANNETTE, D. 2001. Weathering of marbles and granites in marine environment: petrophysical properties and special role of atmospheric salts. *Environmental Geology*, Berlin, 40(3):359-368.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – CEN. (2003) EN 14147/03: Natural stone test methods – Determination of resistance to ageing by salt mist. Brussels.

DI BENEDETTI, V. 2006. Estudo das alterações ocorridas nas rochas ornamentais utilizadas em monumentos arquitetônicos: Museu Júlio de Castilhos e Cúpula da Catedral Metropolitana de Porto Alegre, RS. Porto Alegre, 74p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FITZNER, B.; HEINRICHS, K.; KOWNATZKI, R. 1995. Weathering forms: classification and mapping. Verlag Ernst & John, Berlin, 88 pp.

FORSCHHAMMER (s.d. apud BICZÓK, 1972),

LANGMUIR, 1997). Geoquímica ambiental aquosa. Ed. Prentice Hall PTR .ISBN-10 / 0023674121- EUA. 600p.

MEHTA, P.K & MONTEIRO, J.P.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 163p.

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO ASSENTAMENTO DE ROCHAS E ARGAMASSAS

K.V.F. Grillo¹, J.E. Rodrigues², A.B. Paraguassú²

¹Mestre Departamento de Geotecnia, EESC-USP- karingrillo@gmail.com

²Professor Titular Departamento de Geotecnia, EESC-USP - zeduardo@sc.usp.br; nonus@sc.usp.br

Av. Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos, SP, 13566-590

RESUMO

Este trabalho determina as resistências de aderência à tração e suas correlações com as forças de arrancamento de três rochas (mármore, quartzito e arenito) assentadas com três argamassas diferentes, uma produzida com o próprio resíduo da rocha, outra industrializada e uma última desenvolvida em laboratório. Foram executados ensaios visando a determinação da resistência da aderência à tração, segundo a norma NBR 14084, tanto nas faces lisas como nas faces não polidas das rochas. Os três tipos de rochas, em ambas as faces, assentados com a argamassa produzida em laboratório, mostraram valores médios superiores ao estabelecido pela norma de ensaio (1MPa) e as rupturas ocorreram na rocha. Os resultados médios de resistência dos ensaios executados na face lisa do arenito, do mármore e do quartzito, assentados com a argamassa industrializada e do arenito e do quartzito com a argamassa resíduo, também foram superiores ao especificado pela norma e as rupturas ocorreram na interface argamassa-rocha. Os resultados dos ensaios de tração executados na face não polida do arenito e do mármore, assentados com as argamassas industrializada e resíduo, mostraram valores médios superiores ao especificado pela norma. Os ensaios na face não polida para o quartzito, assentados com a argamassa industrializada e com resíduo, da mesma forma que o mármore com a argamassa resíduo resultaram em valores médios abaixo do especificado pela norma. Estes resultados são explicados pelas características petrográficas específicas de cada rocha (composição mineralógica, textura e estrutura), atestando sua relevante influência na interface argamassa/rocha. A análise dos resultados obtidos possibilita tanto a avaliação das aderências para as rochas escolhidas, como também indica o melhor uso das argamassas nos seus respectivos assentamentos.

Palavras chaves: Rochas ornamentais, argamassa, resíduos sólidos.

1. INTRODUÇÃO

As características tecnológicas das rochas como a durabilidade, a resistência mecânica e o efeito estético as tornam funcionais e proporcionam sua utilização cada vez mais freqüente nas edificações como piso e/ou revestimento. Entretanto, a ampla variedade de materiais pétreos pode levar a escolhas inadequadas, dependendo do local em que são assentadas. Para a sua especificação é necessário, portanto, o conhecimento das propriedades físicas, físico-químicas e das características químico-mineralógicas de cada material, bem como das condições ambientais e das características do local onde as rochas serão assentadas.

O assentamento das placas pétreas, normalmente, é executado de duas maneiras; a primeira com a utilização de *inserts* metálicos, chamado de processo racionalizado e na segunda técnica que é a mais utilizada, a fixação é executada com argamassas, denominado de processo tradicional.

Devido à flagrante ausência de normas operacionais para o assentamento de rochas ornamentais com argamassa utiliza-se, por aproximação, a norma de assentamento de material cerâmico NBR 14.084 (ABNT, 1998).

As argamassas colantes podem ser definidas de acordo com a NBR 14.081 (ABNT, 2004a) como um produto industrial, no estado seco, composto de cimento *Portland*, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

A principal exigência de uma argamassa de revestimento no estado endurecido é a sua aderência ao substrato e/ou rocha. Apesar de sua importância, a incidência de problemas ocorridos com o deslocamento ou manchamento das rochas é acentuada, tornando-se uma grande preocupação para as empresas e para os consumidores.

O presente trabalho trata da fixação de três tipos de rochas, a saber, o arenito, o mármore e o quartzito utilizando as seguintes argamassas: resíduo, argamassa industrializada e argamassa porcelanato.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é, primeiramente, determinar as resistências de aderência à tração para os três tipos rochosos e posteriormente correlacioná-las com as diferentes condições de ensaio no tocante às composições mineralógicas típicas e às diferentes rugosidades das placas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Na seleção dos materiais buscou-se rochas de elevada aceitação comercial com diferentes composições, texturas e estruturas. As rochas escolhidas para o desenvolvimento do trabalho foram o arenito, o quartzito e o mármore.

O arenito apresenta-se finamente estratificado segundo planos bem definidos com coloração castanho-avermelhada e granulação muito fina, medindo entre 0,05 e 0,15 mm na observação microscópica. Sua composição mineralógica perfaz 65% de quartzo e a forte compactação dos grãos minerais, devida à ação de processo de dissolução por pressão de cargas das bordas dos cristais de quartzo promove silicificação parcial do arenito (Matos, 2003).

O mármore esmeralda, conhecido comercialmente por Mármore “Pinta Verde” é classificado quanto à petrografia como calcita-dolomita mármore, com granulação variada entre 1,5 a 3,0 mm (IPT, 1993).

O quartzito apresenta uma estrutura foliada/laminada com forte orientação das palhetas de muscovita (Fernandes, 2002).

Foram utilizadas três argamassas para o assentamento das placas rochosas. Uma específica para o assentamento de mármore e granitos, nomeada neste trabalho como “argamassa industrializada”. A segunda argamassa, desenvolvida em laboratório pelo Departamento de Arquitetura USP - São Carlos, denominada “argamassa porcelanato”. Por último, a argamassa industrializada, produzida com o resíduo de rocha, denominada neste trabalho de “argamassa resíduo”. Esta argamassa, produzida com o resíduo de rocha é proveniente do município de Santo Antonio de Pádua, no estado do Rio de Janeiro, onde existe o beneficiamento de dois tipos de rochas: a Miracema e a Madeira (Carvalho *et al.*, 2003).

3.2 Métodos

Inicialmente prepararam-se os corpos de prova para a determinação de algumas propriedades físicas seguindo a norma NBR 12766 (ABNT, 1992a). Os ensaios realizados foram: Determinação da Massa Específica Aparente, da Porosidade Aparente e da Absorção de Água para os três tipos de rochas. Prepararam-se também os corpos de prova para o ensaio da resistência de Determinação da Aderência à Tração. Após a extração nas placas rochosas com a coroa diamantada (diâmetro de 2,90 cm), os

corpos de prova permaneceram com a forma cilíndrica, de altura média 2,3 cm e com o topo e base (faces) paralelos.

O substrato padrão onde foram assentados os corpos de prova foi moldado de acordo com a norma NBR14.082 (ABNT, 1998).

Os corpos de prova do arenito e do mármore apresentavam uma face polida, proveniente do polimento industrializado. Dessa forma e visando a homogeneização das condições iniciais de rugosidade, foi removido o brilho com auxílio do carbetto de silício, gerando corpos de prova com uma superfície (face) lisa e a outra superfície (face) não polida, decorrente processo de serragem das placas.

Após a preparação dos corpos de prova, passou-se à etapa de seu assentamento nas argamassas estudadas. Sobre o substrato foram espalhadas as argamassas com auxílio de uma espátula ranhurada que gera sulcos subparalelos. Tais sulcos facilitam a expulsão de água excedente e garantem que os corpos de prova mantenham toda a sua superfície em contato com a argamassa. Os corpos de prova foram a seguir assentados tanto nas faces lisas quanto nas não polidas. Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram fixados com Araldite em um dispositivo para a sua fixação e submetidos ao ensaio de arrancamento por tração (Figura 1). A força necessária para o arrancamento dividida pela área do corpo de prova representa a resistência de aderência à tração das argamassas.

Após execução do ensaio de arrancamento nos corpos de prova com a face lisa para o arenito e, principalmente para o mármore, verificou-se a permanência nas argamassas de fragmentos das bordas dos Depreendeu-se deste fato que provavelmente ocorreram fragilizações das bordas dos corpos de prova durante o processo de extração devido a movimentos indesejáveis das coroas diamantadas. Como consequência deste fato, houve uma redução da área de contato argamassa-rocha o que redundou uma alteração nos valores de resistência obtidos. Com intuito de eliminar este efeito indesejável, foram executados chanfros nas bordas dos corpos de prova a serem fixados nas argamassas (Figura 2) e áreas resultantes foram consideradas nos cálculos da resistência à tração.

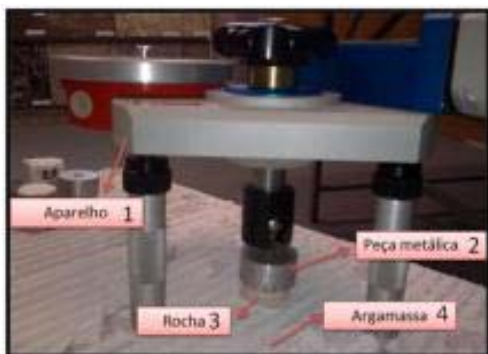


Figura 1 - Equipamento para realização do ensaio de resistência da aderência à tração

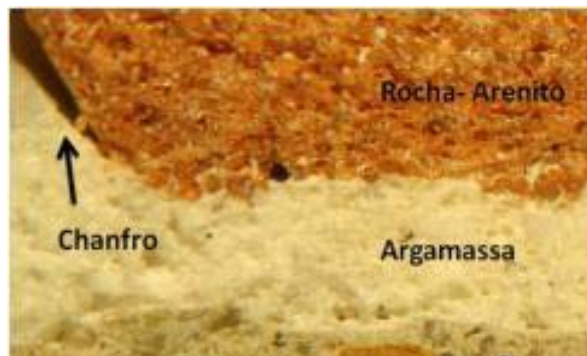


Figura 2 - Corpo de prova do arenito, assentado na argamassa industrializada, na face não polida

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das resistências de aderência à tração das rochas na face lisa e na face não polida são apresentados e discutidos a seguir.

4.1. Resistência de aderência à tração na face lisa

São apresentadas as resistências de aderência à tração do arenito, do mármore e do quartzito, assentados com a face lisa nas argamassas industrializada, na resíduo e na porcelanato, bem como o local de ruptura dos corpos de prova que ocorreu na interface argamassa-rocha ou na rocha (Figura 3).

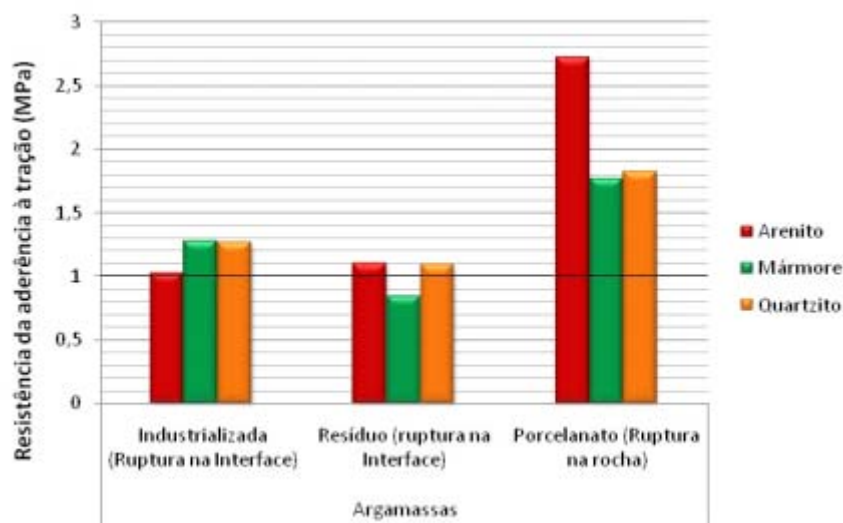


Figura 3 - Gráfico dos valores médios das resistências da aderência à tração das rochas com as argamassas assentados na face lisa e local de ruptura

Os corpos de prova assentados com a argamassa industrializada e com a argamassa para porcelanato apresentaram resistências superiores a 1 MPa, atendendo, portanto, a norma NBR 14084. Os resultados dos ensaios para os corpos de prova do arenito e do quartzito assentados com a argamassa resíduo também foram aceitos pela referida norma.

Os valores médios da resistência da aderência à tração do mármore assentado com a argamassa resíduo foram inferiores a 1 MPa. Analisando os corpos de prova, após o arrancamento à tração, verificou-se a existência de minerais fixos na argamassa. É provável que durante a extração dos corpos de prova, com o auxílio da coroa diamantada, ocorreram vibrações que produziram microfissuras inter e intragranulares, tornando as bordas mais frágeis e passíveis de ficarem aderidas na argamassa. Este microfissuramento facilita a penetração da argamassa e como decorrência tem-se a solidarização dos minerais pela argamassa; entretanto com a execução dos chanfros já referidos eliminou-se este processo.

Comparando-se os locais de ruptura dos corpos de prova após o arrancamento, verificou-se que aqueles assentados com a argamassa para porcelanato a ruptura ocorreu na rocha, ao passo que para os assentados com as outras argamassas, a ruptura ocorreu na interface argamassa-rocha.

Na argamassa porcelanato, o valor médio da resistência da aderência à tração do arenito é o maior e os valores são semelhantes para o quartzito e o mármore. Como as rupturas para as três rochas ocorreram nos corpos de prova, na verdade a resistência à tração medida reflete as suas próprias resistências à tração. Desta forma, depreende-se que no mínimo, a resistência na interface argamassa-rocha apresenta o mesmo valor da resistência para cada tipo rochoso.

4.2. Resistência da aderência à tração na face não polida

Na Figura 4 são mostradas as resistências da aderência à tração do arenito, do mármore e do quartzito, quando assentados com a face não polida, nas argamassas industrializada, na resíduo e na porcelanato, associadas ao local de ruptura dos corpos de prova, ou na interface ou na rocha.

Os resultados dos corpos de prova do arenito e do mármore assentados com três argamassas (industrializada, resíduo e a porcelanato) e do quartzito assentado com a argamassa porcelanato apresentaram resistências superiores a 1 MPa atendendo, desta forma, a norma adotada.

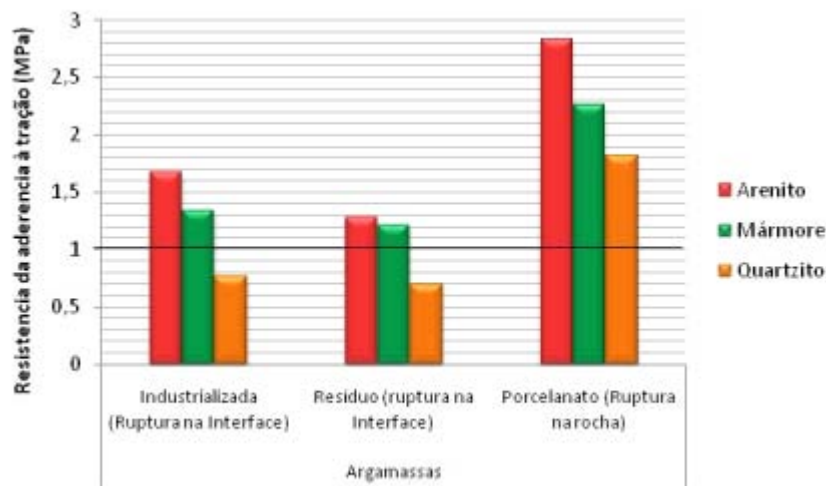


Figura 4 - Gráfico dos valores médios das resistências da aderência à tração das rochas com as argamassas assentados na face não polida

Para os corpos de prova do quartzito, assentados com as argamassas resíduo e industrializada, os valores médios da resistência da aderência à tração foram inferiores a 1 MPa, não atendendo a norma. Percebeu-se que durante o processo de “alisamento” das superfícies na preparação dos corpos de prova com a face lisa, os minerais micáceos foram destacados; já na face não polida, estes minerais aparecem com maior frequência (Figura 5).

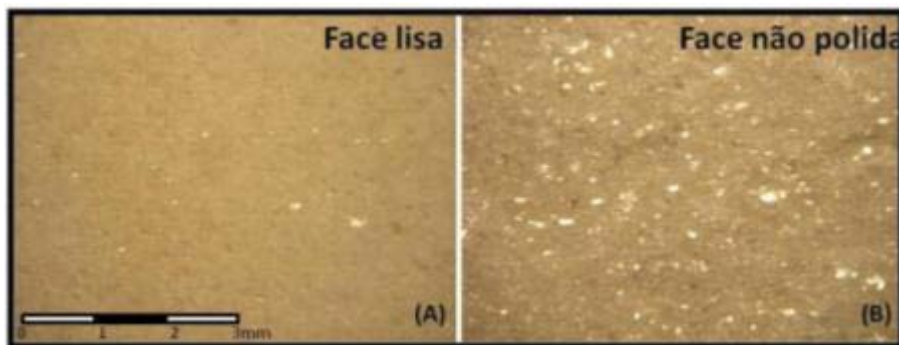


Figura 5 - Microscopia do quartzito. Face lisa (A) e Face não polida (B)

Deduziu-se que a presença desses minerais micáceos em maiores quantidades na face não polida pode, durante o processo de cura das argamassas, gerar poros, que diminuem a área de contato e, como consequência, a resistência da aderência à tração da argamassa durante o arrancamento (Figura 6). Como consequência deste fato, os contatos das argamassas com as rochas são mais eficientes na face lisa em relação às não polidas.

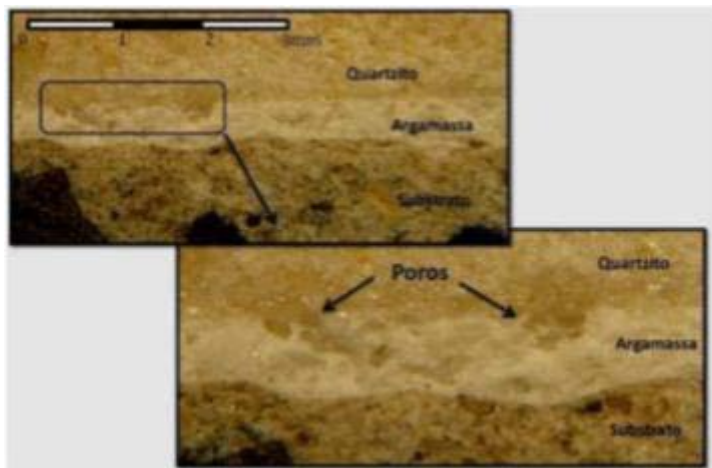


Figura 6 - Interface do quartzito assentado com a argamassa industrializada

Os corpos de prova assentados com a argamassa porcelanato apresentaram rupturas na rocha, prevalecendo o maior valor de resistência para o arenito. Interpretou-se que este fato se deve às suas características genéticas que, embora sendo estratificado, o que poderia gerar planos de fraqueza, exibe uma intensa cimentação por sílica, que lhe confere elevada resistência, se comparada às decorrentes do imbricamento dos grandes cristais de calcita do mármore e à da foliação do quartzito.

A observação sob lupa da interface argamassa-rocha dos corpos de prova do arenito assentado com a argamassa industrializada (Figura7), evidenciou um processo de “ancoragem” (aderência mecânica) representada pela intrusão da argamassa nas reentrâncias do contato que juntamente com as saliências conferem a rugosidade desta rocha.

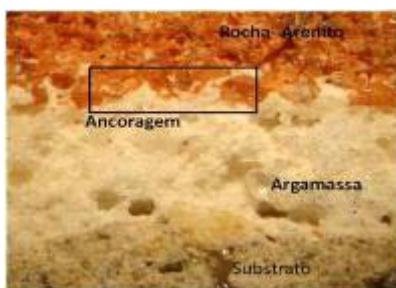


Figura 7 - Ancoragem mecânica da argamassa industrializada com o arenito

4.3 Correlações entre as resistências da aderência à tração da face lisa e da face não polida

As Figuras 8 e 9 exibem os valores médios da resistência da aderência à tração do arenito e do mármore assentados na face lisa e na face não polida nas argamassas em estudo.

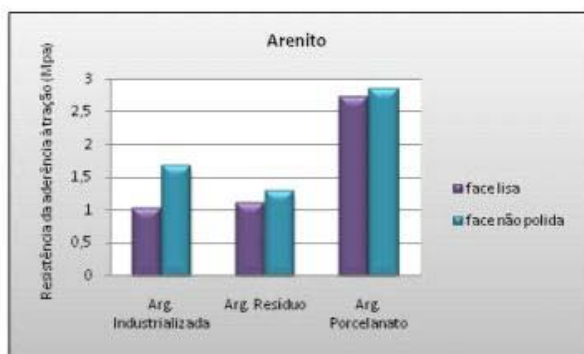


Figura 8 - Gráfico da resistência da aderência à tração do arenito com as argamassas, assentado na face lisa e não polida

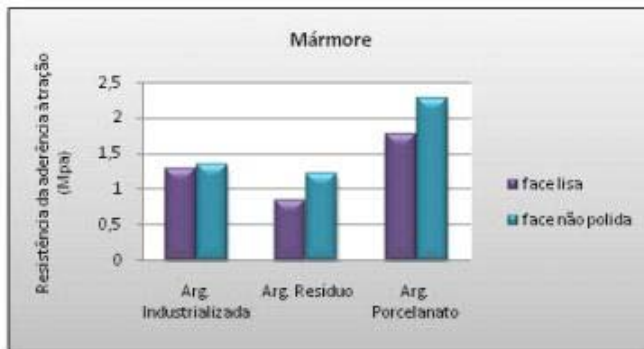


Figura 9 - Gráfico da resistência da aderência à tração do mármore com as argamassas, assentado na face lisa e não polida

Os valores médios da resistência da aderência à tração do arenito e do mármore, nas faces lisas, foram menores em relação às faces não polidas. Tal fato se deve à dimensão da área de contato que sempre é maior nas superfícies mais rugosas em relação às mais lisas, o que promove uma maior aderência da argamassa à rocha (Figura 10). Comparando-se os valores da resistência do arenito e do mármore, assentados com a argamassa porcelanato, em ambas as faces, verificou-se que os valores encontrados foram elevados e próximos, com registro de uma pequena diferença para o mármore. Este fato provavelmente se deve à formação das rochas, pois o arenito apresenta forte e homogênea cimentação, que lhe conferem resistências mais elevadas em comparação àquelas definidas pelo imbricamento e pela própria dureza dos minerais que compõem o mármore.

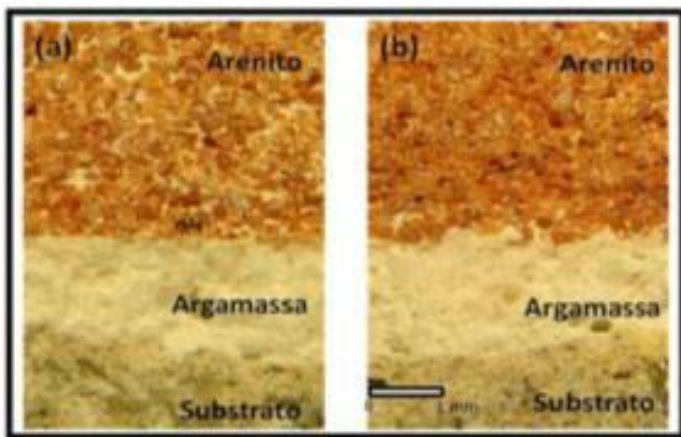


Figura 10 - Assentamento do arenito na argamassa industrializada: (a)-Face lisa e (b)-Face não polida

A Figura 11 apresenta os valores médios da resistência da aderência à tração do quartzito assentado na face lisa e na face não polida para as três argamassas.



Figura 11 - Gráfico da resistência da aderência à tração do quartzito assentados na face lisa e não polida.

Comparando-se os resultados da resistência da aderência em ambas as faces, observa-se que o quartzito, na face lisa, assentado com as argamassas industrializada e resíduo foram maiores em relação à face não polida. Este fato está relacionado à maior presença de minerais micáceos na superfície de contato da face não polida, conforme já referido anteriormente.

O quartzito assentado com a argamassa porcelanato, em ambas as faces, apresenta aderência na interface argamassa-rocha suficientemente forte para que a ruptura dos corpos de prova ocorra na rocha. Este fato não se constitui surpresa para a face lisa pelos motivos já referidos no tocante ao arrancamento de micas da superfície. Entretanto, para a face não polida pode-se afirmar que a aderência desta argamassa é tão significativa que se sobrepõe ao efeito de deslocamento dos minerais micáceos, posto que a ruptura ocorreu na rocha.

5. CONCLUSÕES

- Os corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato, em ambas as faces, apresentaram maiores valores da resistência da aderência à tração para as três rochas estudadas.
- Com exceção de três ensaios (mármore/argamassa resíduo na face lisa e quartzito/argamassa industrializada e resíduo na face não polida) todos os demais mostraram resultados de resistência da aderência à tração maiores que 1,0 MPa, atendendo a norma NBR 14.084 (ABNT, 1998).
- Os valores médios reduzidos do quartzito quando assentado na face não polida, para as argamassas industrializada e resíduo, se devem ao fácil destacamento de micas que reduzem a resistência à tração no processo de arrancamento.
- Quando aspectos petrográficos são pouco influentes, os valores de resistência da aderência à tração obtidos com assentamento na face não polida são superiores ao da face lisa, devido à maior área de contato existente na primeira.
- As rupturas nos ensaios de resistência da aderência à tração ocorreram na interface argamassa-rocha nos assentamentos nas faces lisa e não polida das três rochas para as argamassas industrializada e resíduo.
- Para os três tipos de rochas assentados com a argamassa porcelanato, as rupturas ocorreram na rocha, o que evidencia que as forças de atração geradas no contato se sobrepõem aos aspectos petrográficos que nas outras argamassas são determinantes para a redução da resistência ao arrancamento.

- O fato do assentamento dos corpos de prova com as argamassas apresentarem resistências de aderência à tração diferentes para diversas rochas atesta a importância dos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais no processo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12766/92: Rochas para revestimento, determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081/04: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: especificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14082/98: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14084/04: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: determinação da resistência de aderência. 2004.

E.A. CARVALHO; A.R. CAMPOS; C.C. PEITER; J.C. ROCHA. Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua. Evento: 1º seminário da Sustentabilidade Ambiental da Mineração. Salvador. 2003.

FERNANDES, T.M.G., Caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos do Centro Produtor de São Tomé das Letras no Sudoeste do Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado. IGCE/UNESP, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Catalogo de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. São Paulo, 1993.

MATOS, L.F.S., Metodologia experimental para previsão da durabilidade de pedras naturais de construção. Florianópolis. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA DE CAMPO NA CIDADE DE MONTEIRO-PB

I. J. C. Ribeiro¹, L. M. M. Bispo², J. A. G. Neto², A. P. L. Bezerra², D. R. Ferreira²

¹ Professora IFPB - Instituto Federal da Paraíba e-mail: iracira@hotmail.com

² Instituto Federal da Paraíba, campus Monteiro, PB, Ac. Rodovia PB – 264, Bairro Santa Maria, Monteiro, PB, 58500-000. e-mail: tciemonteiro@gmail.com

RESUMO

A utilização crescente de rochas ornamentais em obras civis tem alertado os profissionais e usuários para os problemas patológicos decorrentes de má execução e escolha inadequada de materiais, entre outros problemas de origem externa. As medidas preventivas para esses problemas são os cuidados com as técnicas executivas, as especificações de materiais e serviços e a adequação de ambos ao uso pretendido das rochas.

As patologias em rochas ornamentais geram prejuízos aos usuários e, muitas vezes, podem ser evitadas durante o processo executivo, pois a maioria advém de erros do projeto e da má execução. Os principais tipos de manifestações patológicas em rochas são descolamentos, manchas, fissuras, eflorescências, perda da resistência e do brilho, entre outros.

O objetivo deste trabalho é fazer um levantamento das manifestações patológicas existentes em revestimentos com rochas ornamentais na cidade de Monteiro-PB e verificar as causas e possíveis soluções.

Palavras-chave: Patologias; Rochas ornamentais; Monteiro.

1. INTRODUÇÃO

Rocha é um agregado natural e multigranular formado por um ou mais minerais e/ou mineralóides com composição e estrutura química definidas, que são classificadas em: rochas magmáticas, rochas sedimentares e rochas metamórficas. As magmáticas são provenientes diretamente do magma, podem se formar a grandes profundidades sob elevadas pressões e temperaturas, apresentando minerais relativamente grandes, pois tiveram mais tempo para formarem-se e são chamadas rochas magmáticas plutônicas. As de superfície, formadas a grandes temperaturas, mas sob baixa pressão, apresentando minerais de tamanho reduzido pelo resfriamento rápido e são denominadas rochas magmáticas vulcânicas. As rochas sedimentares são formadas pela ação física e química dos agentes do intemperismo sobre rochas pré-existentes, cujos produtos se depositam mais a jusante. Por fim as rochas metamórficas originadas pela transformação de rochas (protólito) em outra distinta através de modificações mineralógicas, texturais e estruturais em decorrência da variação de temperatura e pressão (Teixeira et al, 2000).

Podemos definir rocha ornamental, segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), como material rochoso natural, submetido a diferentes graus de aperfeiçoamento (apicoado, frameado, polido e recortado) e utilizado para exercer uma função estética.

Atualmente as rochas ornamentais são bastante empregadas nas edificações, tanto na decoração de ambientes, quanto na condição de revestimentos verticais (fachadas e paredes internas) e horizontais (pisos). Também são utilizadas na criação de peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões e lápides. Como consequência, acham-se expostas às condições ambientais do local de uso, isto é, a ação dos agentes intempéricos, industriais, degradadores domésticos e, sendo imprescindível, portanto à adoção de certos critérios técnicos, visando preservar, na íntegra, as qualidades estético-decorativas do produto, junto ao caráter funcional do material (Mendes e Vidal, 2002).

A produção mundial de rochas ornamentais teve uma evolução de cerca de 1,5 milhões de t/ano na década de 20, para um patamar atual de 65 milhões de t/ano e, tal incremento foi determinado tanto por novos tipos de utilização das rochas nas paisagens urbanas, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos. Os avanços tecnológicos permitiram o aproveitamento e difusão de diversas rochas anteriormente não comercializadas, enquanto as novas utilizações viabilizaram soluções estéticas e funcionais muito interessantes e confiáveis na construção civil. Cerca de 80% da produção mundial é atualmente transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária e 5% para outros campos de aplicação. Aproximadamente 60% dos revestimentos referem-se a pisos, 16% a fachadas externas, 14% a interiores e 10% a trabalhos especiais de acabamento (Chiodi Filho et al, 2004).

A produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,2 milhões de toneladas, sendo 3 milhões de toneladas de granitos, 1 milhão de toneladas de mármore e o restante referente à produção de ardósias, quartzitos foliados e pedra Miracema, dentre outros. O Brasil é o 8º país em exportação de blocos e o 5º maior exportador de rochas ornamentais acabadas (SEBRAE). No período de janeiro a julho de 2012 as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento somaram US\$ 618,28 milhões e 1.292.003,46 t, observando-se variação de respectivamente 9,08% e 3,00% frente ao mesmo período de 2011(ABIROCHAS).

As rochas ornamentais são materiais de revestimentos muito duráveis, como mármore, granito, ardósia, arenito, quartzito, gnaiss, calcário entre outras, porém se não forem corretamente instaladas ou não receberem cuidados apropriados apresentarão problemas que certamente encurtarão sua vida útil e comprometerão a qualidade do revestimento da obra. Para aumentar a durabilidade das rochas ornamentais é necessário conhecer melhor suas características e aplicações, elaborando uma classificação de acordo com suas propriedades, comportamento e usos. Essa especificação orientaria como escolher, aplicar e conservar cada tipo de rocha (Frasca, 2002).

As patologias dos revestimentos são estudadas com o intuito de diagnosticar as causas do problema, estabelecer os devidos reparos de acordo com o revestimento em questão, além de fornecer os procedimentos que minimizem ou evitem a concorrência dessas patologias em outros revestimentos pétreos. Em geral os problemas encontrados estão associados a diversos fatores como, especificação de materiais incompatíveis com as condições de utilização, por desconhecimento das características e propriedades das pedras; emprego das técnicas de execução não adequadas; ausência de um projeto construtivo; falta de controle de qualidade das etapas de produção (Grillo, 2010).

Ainda segundo Grillo (2010), alteração do revestimento pétreo está intimamente ligada à interação dos agentes ambientais sobre a natureza da rocha. Rochas carbonáticas como mármore e calcários são atacados por ácidos e resistem pouco à abrasão. Arenitos, rochas muito porosas, sofrem ações de tração, devido à cristalização dos sais nos espaços intergranulares, principalmente os de granulação fina, homogênea e desprovidos de estruturas planares. Os granitos são as rochas mais resistentes aos agentes agressores, tanto químicos, quanto físicos. Rochas que apresentam alto grau de absorção d'água, avançado grau de alteração mineralógica ou presença de minerais deletérios serão muito mais susceptíveis à aparição de manifestações patológicas. As manifestações patológicas mais frequentes, observadas nos revestimentos pétreos são: modificações na coloração original, manchamentos, eflorescências, degradações, deteriorações, fissuramento ou trincamento, bolor, perda da resistência mecânica, desgaste, descolamento, juntas descontínuas, falhas nos selantes (rejuntamento), perda de brilho, além de outras. As alterações mais importantes ocorrem pelo ataque físico-químico dos minerais constituintes das rochas, podendo-se destacar alguns parâmetros conhecidos como os álcalis, por exemplo, na forma de soda cáustica, atacam os minerais silicatados, presentes nas rochas graníticas e granitoides em geral; a calcita e dolomita, que são carbonatos e principais constituintes dos mármore, sofrem ataque de todas as soluções aciduladas; o oligoclásio, mineral silicatado da família dos feldspatos

cálcio-alcalinos, e a nefelina, também um mineral silicatado do tipo feldspatóide, são sensíveis ao ácido clorídrico; os minerais máficos (escuros) são mais alteráveis por oxidação que os minerais félsicos (claros), salientando-se que o hiperstênio, mineral máfico da família dos piroxênios e constituinte dos charnockitos (granitos verdes tipo Ubatuba), degrada-se por insolação e modifica o padrão cromático da rocha; os sulfetos, minerais metálicos que ocorrem como acessórios tanto em mármore quanto em granitos, serpentinitos e quartzitos, oxidam-se mais ou menos rapidamente quando expostos às condições atmosféricas, constituindo assim um dos principais problemas das rochas de revestimento.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais a restauração das rochas aplicadas deve ser efetuada mediante análise específica do problema observado. Os procedimentos mais comuns para remoção de manchas e outras alterações, incluem repolimento, aplicação de ácido oxálico (solução de 10% em volume), aplicação de água oxigenada (20 volumes), jateamento de areia (para superfícies não reflectantes) e aplicação de água quente e/ou vapor d'água sob pressão. Para trincas e cavidades, costuma-se efetuar preenchimento com massa plástica, cimento branco ou gesso, misturado ao pó da rocha afetada. Especificamente para travertinos (por exemplo, Bege Bahia), existem estuques próprios bastante utilizados em cavidades. Os melhores produtos para limpeza regular das rochas, principalmente em pisos, são os detergentes de pH neutro e os sabões puros. Os métodos mais comuns para essa limpeza sistemática é lavagem, varrição, aspiração (superfícies não polidas) e uso de esfregão úmido. Também para os pisos é importante que se efetue o trabalho de limpeza com a maior regularidade possível, pois além de abrasiva a sujeira acaba se impregnando nas superfícies pela pressão do tráfego de pedestres. A prevenção de problemas relacionados à absorção de líquidos e oleosidade pode ser viabilizada através de impermeabilizantes subsuperficiais hidro e óleo repelentes. A utilização desses selantes só pode ser efetuada mediante testes específicos, pois os produtos disponíveis no mercado não têm composição adequadamente grafada e suas recomendações de uso são muito genéricas.

A preocupação com a correta utilização das rochas ornamentais, desde a especificação até a colocação, somente vem a beneficiar o setor, evitando-se problemas futuros. Dessa forma a rocha passa a ser uma aliada aos projetos dos profissionais da área de arquitetura.

1.1 Patologias em Rochas Ornamentais na cidade de Monteiro

Durante as visitas em obras na cidade de Monteiro, localizada no estado da Paraíba foi constatado vários tipos de manifestações patológicas e muitas delas em rochas ornamentais. Os tipos de rochas encontrados na construção civil de Monteiro são granitos, quartzitos, mármore, ardósias e calcários. As formas são placas polidas e brutas para pisos em diversos tamanhos, filetes, bancadas, soleiras e seixos rolados para decoração de jardins. As manifestações patológicas observadas foram fissuras e trincas, manchamentos, desgastes e descolamentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas observações *in loco* em edificações residenciais, comerciais, religiosas e públicas na cidade de Monteiro-PB. A metodologia para análise das patologias foi exame visual e fotográfico. Os materiais analisados foram as rochas usadas nestas edificações, como granito, quartzito, ardósia, mármore e calcário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As manifestações patológicas observadas compreendem fissuras e trincas, descolamento, manchamentos e desgaste. Nenhuma ocorrência apresenta diagnóstico grave, apenas casos que afetam a estética das construções e de uma maneira geral são de recuperação onerosa, pois a função das rochas ornamentais é a beleza da obra, então o fechamento de uma fissura não contribui para o

embelezamento, mas apenas para a segurança estrutural da edificação. Em muitos casos é necessário trocar a peça.

3.1 Fissuras e Trincas

As fissuras foi o tipo que mais observamos em soleiras de portas e degraus, surgindo no meio e nos cantos da peça, como podemos ver na figura 1a. As fissuras podem ser um defeito de fabricação, manuseio incorreto e argamassa colante insuficiente. As trincas observadas na pesquisa ocorreram em uma soleira de granito de uma edificação comercial e no mármore que reveste uma coluna da igreja, como podemos ver na figura 1b e 1c. A trinca da soleira está relacionada à colocação de um parafuso para sustentar uma grade, visto que o furo foi feito próximo a borda. A trinca no mármore da coluna é de ordem estrutural e deve-se investigar se houve recalque na estrutura, necessitando de equipamentos para medir resistência *in loco*.

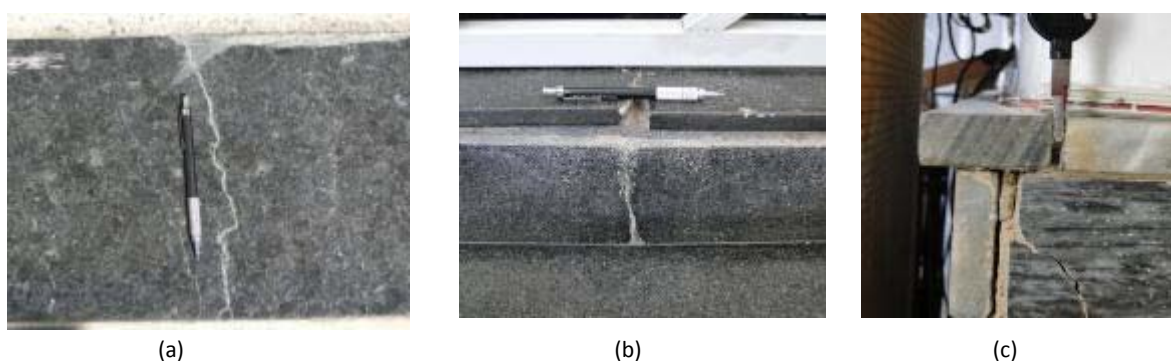


Figura 1 - (a) Fissura em soleira de granito; (b) Trinca em soleira de granito devido fixação de grade e (c) Trinca em mármore que reveste coluna da igreja.

3.2. Descolamento

Foram observados vários casos de descolamento tanto em pisos como em paredes. Temos dois fatores que interferem nesse tipo de patologia que é a variação climática na cidade, ou seja, é muito quente durante o dia e frio à noite, e, uso de argamassa colante inadequada. Um dos problemas verificados foi o uso de rochas seixo rolado colado com argamassa tradicional de cimento e areia em passeio público, onde tem mais tráfego de pessoas, houve mais descolamento. Outro caso curioso é o descolamento de apenas um tipo de rocha como mostra a figura 2.



Figura 2 – Descolamento de filetes de 0,20 x 0,05 m em fachada de residência.

Podemos constatar que não houve aderência da argamassa no tardo das peças e visivelmente não foi obedecido o que manda as normas de execução deste tipo de serviço que é a colocação da argamassa cruzada, pois vemos claramente as linhas da desempenadeira denteada em apenas uma direção. Neste caso, a solução é remover a argamassa e recolocar as peças usando argamassa AC III – E, própria para assentamento de rochas.

3.3 Manchamentos

As manchas que observamos são causadas pela umidade, como constatamos nas figuras 3a, 3b, 3c e 3d.



Figura 3 – (a) Divisórias de granito em banheiro; (b) Jardineira em cima do muro revestido com quartzito; (c) Mancha esbranquiçada em soleira de granito; (d) Mancha verde proveniente do granito verde Ubatuba.

A figura 3a mostra uma divisória de granito num banheiro proveniente da má execução das instalações hidráulicas que pode ser solucionado com a retirada do vazamento. A figura 3 b mostra a infiltração de água da jardineira em cima do muro, alterando a cor das rochas e pode ser solucionado com a correta impermeabilização dentro da jardineira. A figura 3c mostra uma mancha esbranquiçada proveniente da água de chuva que respinga do corrimão metálico e isso se verifica em toda a varanda. A solução é proteger a varanda com um telhado maior. A figura 3d apresenta manchas verdes na cerâmica que se originam do granito verde Ubatuba e se intensificaram com uso de produtos de limpeza.

3.4 Desgaste

Esse tipo de problema ocorre com frequência em ambientes com movimento intenso de pessoas como é o caso de escolas e igrejas. A figura 4a apresenta desgaste na peça de mármore em revestimento da igreja e pudemos observar em vários pontos outras marcas de desgaste, mas como a construção já é bem antiga, então essas ocorrências são comuns e para que aumente sua vida útil deverá ser restaurada. A figura 4b é uma construção nova e apresenta vários problemas de desgastes, pois além dos alunos há uma construção ao lado, afetando o desempenho das rochas.

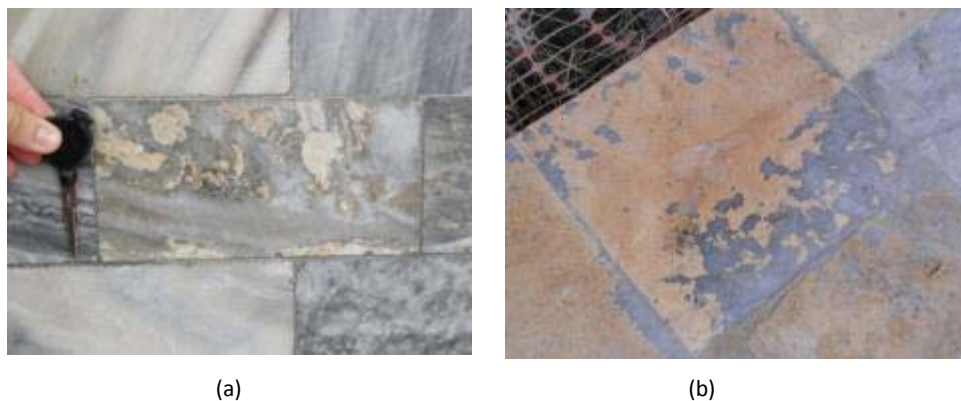


Figura 4 – (a) Peças de mármore em revestimento na igreja; (b) Piso em quartzito foliado em ambiente escolar

4. CONCLUSÃO

Podemos concluir que as manifestações patológicas encontradas nos revestimentos com rochas ornamentais não são graves, mas precisam de atenção quanto a especificações de materiais e mão de obra, pois a correção desses defeitos requer custo elevado. Na igreja foi verificada uma trinca que deve ser investigada quanto à resistência da estrutura, pois se trata de construção antiga e deve passar sempre por manutenção preventiva.

REFERÊNCIAS

Chiodi Filho, C., **Rodrigues, E. P.**, Artur, A. C. Panorama Técnico – Econômico do Setor de Rochas Ornamentais no Brasil. Revista Geociências, São Paulo, V. 23, n. 1, 2004.

Frasca, M.H.B. de O. 2002. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE.

Grillo, K. V. F., Análise comparativa da aderência de tipos rochosos assentados com três argamassas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

Mendes, V. A. e Vidal, F. W. H., **Controle de qualidade no emprego das rochas ornamentais na construção civil**, III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002, Recife, PE.

Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. Decifrando a terra. 1ª edição, São Paulo: Oficina de textos, 2000.

Sites visitados:

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. www.abirochas.com.br

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. www.sebrae.com.br

OUTRAS APLICAÇÕES DE USO

A IMPORTÂNCIA DA ARGAMASSA EXPANSIVA NO SETOR DE ROCHA ORNAMENTAL

M.F.Meyer¹, J.C.Pontes², E.N.Santos³, P.T.M.Paiva⁴, N.M.G.M Pinto⁵.

¹ **Mauro Froes Meyer** - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015 Fones: (084) 4005-2636 e (084) 9926-5323 E-mail: mf.meyer@terra.com.br; mf.meyer@hotmail.com, mauro.meyer@cefetrn.br

² **Júlio Cesar de Pontes** -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). Telefone: (084) 3234-9995 (Residencial) e (084) 9451-5561 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço) . E – mail: juliocp@terra.com.br

³ **Edson Neves dos Santos** -Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). Telefone:(091) 8123-0867 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço) . E – mail: edson_san2003@yahoo.com.br

⁴ **Pedro Thiago de Moura Paiva** –Aluno do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte).

⁵ **Nayra Maria Gomes Magno Pinto** – Aluna do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: nayramagno@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os fatores que influenciam diretamente ou indiretamente a utilização da argamassa expansiva no setor de rochas ornamentais comparados com outros métodos de extração no aspecto da relação custo benefício. Os resultados práticos foram obtidos através do levantamento de dados da viagem de campo ao município de Casserengue –PB em visita a pedreira Top Stone onde através de fotos e dados relativos á técnica de utilização da argamassa expansiva. Portanto foi possível observar a vantagem de utilizar argamassa expansiva principalmente nos aspectos de segurança do trabalho e meio ambiente.

Palavras-chave: argamassa expansiva, rocha ornamental e segurança do trabalho

INTRODUÇÃO

Atualmente a Itália tem os maiores avanços em tecnologias no setor de beneficiamento das rochas ornamentais e domina o mercado internacional de granito, apesar de não ter grandes jazidas. Ela importa o granito bruto para poder beneficiar e exportá-lo.

O Brasil vem se destacando no mercado mundial de rochas ornamentais onde é o 5º maior produtor mundial, tendo em destaques os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Paraíba. O nordeste é uns dos grandes “palcos” de extração de granitos exclusivos e de grande aceitação no mercado externo e interno.

A escolha do método de lavra nas rochas ornamentais é uma das decisões mais importantes que são tomadas durante o estudo de viabilidade econômica (custo x benefício), e de introdução delas no mercado, pois o melhor método é aquele com a menor quantidade de perdas (rejeito) durante a produção de blocos. (LEANDRO, 2009)

O uso da argamassa expansiva é um dos métodos mais procurados pelas empresas extrativistas, devido às suas grandes vantagens comparados por outros métodos utilizados para tal objetivo.

ARGAMASSA EXPANSIVA

Definição:

A argamassa expansiva (agente demolidor) é um pó inodoro; não explosivo; de densidade de 3,2 Kg/L que ao ser misturada à água expande-se em até 100%, criando uma pressão sobre as paredes das rochas (nos furos) de até 78 MPa (Mega Pascal) que ocasiona o fraturamento do material de modo progressivo e gradual no qual provoca ruptura ao longo da linha de furos.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA EXTERNA	
FRACT.AG® é produzido em 6 diferentes tipos de composição química, para adaptar o uso em função da temperatura externa.	
Vermelho:	menor de 5°C
Verde:	de 5°C a 20°C
Amarelo:	de 20°C a 35°C
Ouro:	de 35°C a 50°C
Azul:	de 50°C a 60°C
Prata:	maior de 60°C

Figura 1 - Exemplo de uma argamassa expansiva FRACT.AG® para seis ambientes de temperatura.

Ela é formada basicamente de óxido de cálcio (CaO), este é o responsável por sua expansão via hidratação. As composições das argamassas expansivas comercializadas não são informadas pelos fabricantes, constituindo-se em segredo industrial.

Alanis (2002) cita a existência de pelo menos cinco tipos de argamassa, especificadas para uso em ambientes com temperaturas que variam de 5°C ou menos até 50°C (existindo em algumas marcas até 70°C). A argamassa comercial é produto comercializado a granel e em cartucho.

Composição:

Uma argamassa expansiva comercial é composta de cal, argila e gesso misturados em proporções determinadas. Essa mistura é calcinada em um forno rotatório a 1500°C que depois é triturada. Outros componentes também estão presentes na argamassa comercial: SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃.

Reações:

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ - devido à presença de cal virgem

$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ - devido à presença do cimento Portland.

Esta reação do CaO com a H₂O, originando Ca(OH)₂, provocando um aumento de volume e por isso, a geração de calor $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{calor}$. A alteração volumétrica é responsável pela expansão da argamassa, logo, ela age em função do próprio inchamento, exercendo nas paredes do furo uma pressão, com isso, provocando o fissuramento do material.

Quanto menor a porosidade (na trituração) inicial do sistema constituinte da argamassa, menor é o espaço interno disponível para acomodações das “partículas” e no decorrer das reações de hidratação da argamassa. Essa falta de espaço livre possibilita uma expansão real do volume do material que preenche os furos na rocha a ser desmontada e ocorrendo o inchamento das fases cristal químicas, levando-o conseqüentemente à transmissão de tensões tracionantes.

Em sua rede cristalina ocorre a mudança do sistema isométrico do óxido de cálcio para um sistema trigonal, resultando no hidróxido de cálcio. Essa alteração cristalográfica provoca uma queda na densidade e um aumento de volume da argamassa. A densidade pode ser definida como quantidade de massa que o corpo possui dividido pelo volume que esta massa ocupa.

A presença de outros componentes minerais ou orgânicos é responsável pelo controle da cinética da reação, tendo assim uma reação química lenta e gradual. Os furos preenchidos com essa argamassa provocam uma tensão (pressão de expansão), onde o plano de alinhamento dos furos direciona o

rompimento da rocha, evitando também a perda da água por evaporação e a explosão da argamassa contida nos furos.

A argamassa expansiva revela uma acentuada esfoliação dos grânulos após sua hidratação, provocando então sua expansão.

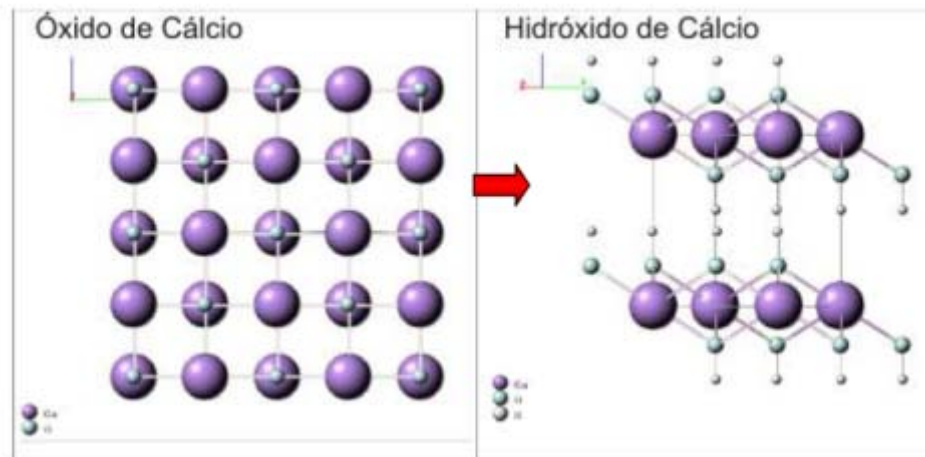


Figura 2 - Esfoliação da argamassa expansiva.

granitos	150 Kg/cm ²	dolomitos	100 Kg/cm ²
vulcânicas pórfiras	190 Kg/cm ²	gnaiesses	180 Kg./cm ²
traquitos	95 Kg/cm ²	mármoreos	140 Kg/cm ²
arenitos	75 Kg/cm ²	calcários	120 Kg/cm ²

Tabela 1 - A resistência das rochas à tensão gerada pela expansão da argamassa.

Segundo Rogertec (2006), a colocação da pasta expansiva no furo irá exercer uma pressão na direção perpendicular nas paredes do mesmo (uma pressão “p” uniforme variando com o tempo de reação e temperatura). De fato, com temperaturas mais elevadas, obtêm-se resultados em tempos mais breves e com temperaturas mais baixas alcançam-se os mesmos resultados em tempos mais longos, ou resultados mais modestos para um mesmo tempo.

Como utilizar:

A argamassa deve se misturada com água sob agitação constante, onde se torna uma pasta fluida. Os furos devem estar limpos, sem de água e impurezas; o preenchimento do furo deve ser total e aberto (dependendo das condições climáticas) ou em casos de chuva usar proteção (capas impermeáveis). Em de rochas muito porosas ou com altas temperaturas o recomendável é umedecer os furos para que a reação de expansão ocorra normalmente. O espaçamento entre os furos (alinhamento) é determinado principalmente pelo seu diâmetro e as características do material a ser cortado dando um maior controle em relação aos explosivos.

O preenchimento da pasta nos furos deve ser realizado entre 5 a 15 minutos após a mistura, ou seja, antes que inicie a reação.

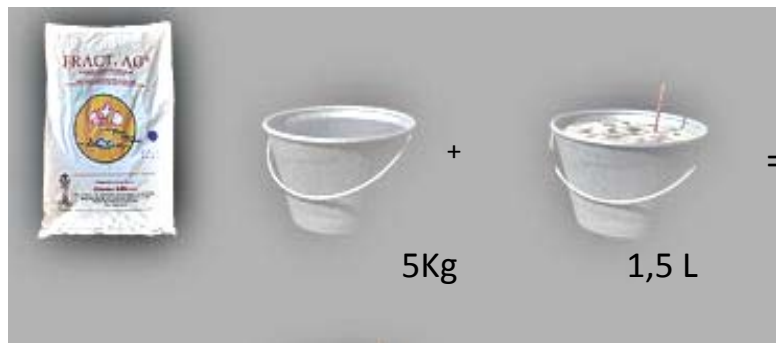


Figura 3 - Preparo da argamassa expansiva.

O tempo de reação para corte é determinado pela: temperatura ambiente; características mecânicas e geológicas das rochas (composição, textura e estrutura interna); direção do corte; espaçamento e diâmetro dos furos e quantidade; e o tipo de argamassa utilizada. Quanto menor o espaçamento dos furos e maior seu diâmetro mais rápido é o processo de corte, que obviamente deve também levar em conta o tipo de argamassa em função da temperatura ambiente.

A distância entre os furos (minas) deve ser:

- 10 a 30 cm: corte de rochas ornamentais
- 30 a 60 cm: demolição de rochas
- 20 a 25 cm: demolição de concreto armado
- 40 a 50 cm: demolição de cimento

A argamassa expansiva, para as suas devidas aplicações, deve possuir três propriedades relacionadas com a reação de hidratação, que são:

- O início da reação deve ocorrer após um determinado tempo (depois da adição de água) no furo de forma adequada ou suficiente;
- A mistura vertida no furo deve expandir de forma que exerça pressão na estrutura a ser desmontada ou demolida de forma eficaz, sem transbordamento;
- Durante a reação ocorre uma pressão expansiva suficiente para o corte da estrutura em um período de tempo relativamente curto.

Segundo Makino et al. (2005), estudando o uso de cimento em argamassa expansiva, foi observada que grande concentração de CaO acelera a hidratação com diminuição da viscosidade da massa. Por outro lado, a colocação de muita água promove a dissolução da suspensão, causando a diminuição da pressão na expansão da argamassa. A evolução dos esforços é lenta e são esperados numa média de 8 a 24 horas para a completa ação de desmonte, dependendo da temperatura ambiente.

Os furos devem ser verticais ou inclinados para que a argamassa entre com facilidade, onde eles (furos) não devem ser tampados (dependendo dos fatores climáticos e estruturais). Em caso de infiltração, ou onde existem muitas fissuras, aconselha-se colocar dentro do furo um tubo plástico de PVC para depois preenchê-lo.

O material a ser demolido é feito em por uma seqüência de furos em linhas onde tenderá quebrar-se ao longo desta linha. As resistências à tração de materiais a serem extraídos ou demolidos são variadas.

Nas aplicações da argamassa expansiva deve haver cuidado especial com os funcionários para não aproximar o rosto dos furos nas primeiras 2 ou 3 horas, pois existe a possibilidade de haver expulsão violenta de material, se as condições de uso não forem respeitadas.

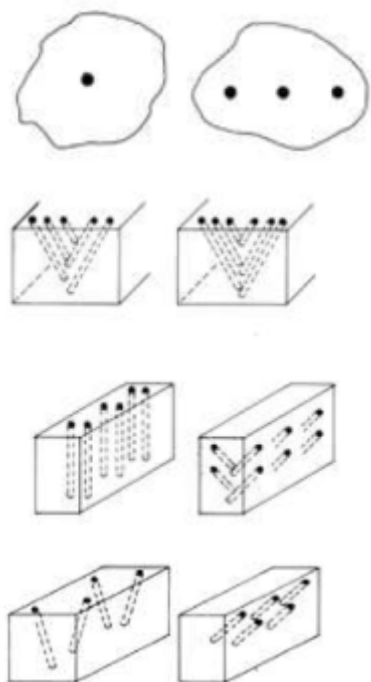


Figura. 4 - Exemplos de perfuração.

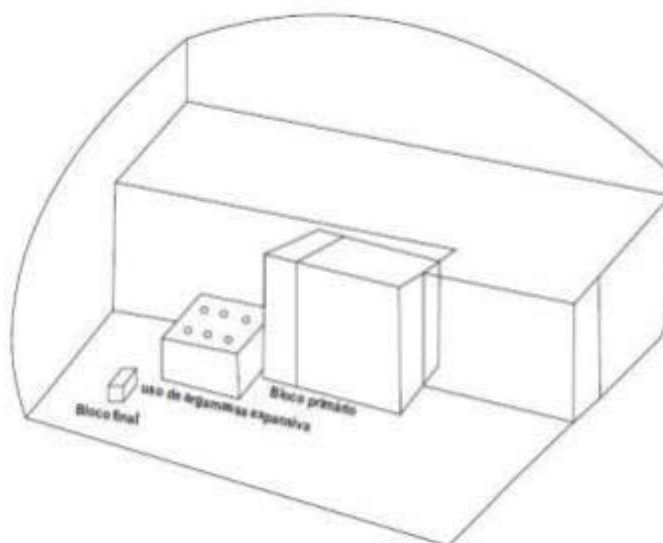


Figura. 5 - Esquema geral da lavra de maciço.

Onde utilizar

A argamassa tem a finalidade de demolir qualquer formação rochosa, concreto armado, estruturas de tijolos onde por razões de segurança ou preservação do meio ambiente. Ela é utilizada para execução dos seguintes trabalhos:

- Escavações de fundações aplainamento de rochas para construção de estradas
- Escavações de trincheiras para o posicionamento de dutos escavações subterrâneas
- Escavações marítimas, mesmo submarinas eliminação de blocos de pedra demolição de pilares, torres e paredes (de concreto armado ou não)
- Demolição de fundações
- Demolição de quebra-mares
- Demolição de obras de tijolo ou refratários
- Escavação ou demolição de formação rochosas ou concreto onde o uso de explosivos demonstra-se antieconômico e proibido por questões de segurança.
- Pré-fissuramento de formações rochosas com a criação de blocos isolados que, assim, podem ser demolidos com maior facilidade. Elas são utilizadas tanto em lavras a céu aberto quanto em subterrânea. Na mineração:
 - Blocos soltos
 - Abertura de valas
 - Demolições
 - Abertura de frente de desmonte

- Corte de blocos para indústria de rocha ornamental.

Vantagens e desvantagens da argamassa expansiva

A argamassa expansiva tem muitas vantagens em relação às técnicas tradicionais: como o maçarico (*flame jet*), os explosivos e as cunhas mecânicas. As qualidades em destaque são: maior regularidade dos planos de corte, preservação da integridade físico-mecânica dos materiais, maior taxa de recuperação, baixo custo, flexibilidade operacional e maior produtividade. Além de alguns pontos positivos relacionados à segurança do trabalho; meio ambiente, sendo ela um produto não tóxico (dependendo do fabricante); de manuseio seguro; silenciosa e absolutamente inofensiva (sem ter presença de gases tóxicos). Nos dias de hoje, a argamassa expansiva substituiu o desmonte com explosivos em áreas urbanas, onde os furos nos diversos pontos do maciço são feitos com marteletes pneumáticos ou perfuratrizes elétricas e preenchidos pela argamassa expansiva.

A argamassa expansiva diminui a quantidade de perfurações, aumentando a produção e a qualidade do produto obtido. Seu alto efeito de expansão possibilita cortes na vertical e horizontal, em blocos soltos, em bancadas ou em pranchas. Os furos alinhados corretamente e preenchidos permitem que o corte de maciços rochosos seja mais controlado em relação àquele obtido por explosivo. A distância entre os furos varia em função do seu diâmetro (32 mm a 50 mm) e do tipo de material a ser desmontado ou cortado. A Tabela 2 (abaixo) mostra o uso de argamassa expansiva em pó para um metro linear de furo.

Tabela 2 – Consumo estimado de argamassa (pó) para 1 metro linear de furo:

Diâmetro (mm)	30	32	24	38	40	45
kg/metro linear	1,1	1,2	1,5	1,8	2,0	2,6

PROCESSOS UTILIZADOS NAS ROCHAS ORNAMENTAIS

O que é uma rocha ornamental

São rochas não metálicas que possuem um valor econômico principalmente de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura, granulação, etc.. As principais rochas consideradas como ornamentais incluem mármore, granito, calcário, ardósias, quartzitos, sienitos, dioritos, arenitos e pedras naturais. Essas rochas são extraídas em formas de blocos ou placas, cortadas com feições variadas e em seguida beneficiadas com polimentos, lustros, etc. As rochas ornamentais do ponto de vista comercial correspondem à cerca de 90% da produção mundial em mármore e granito e o restante dos 10% destacam-se em materiais como ardósia, quartzito, pedra-sabão, entre outros.

Extração por argamassa expansiva

O emprego de argamassa expansiva para corte de rocha é uma das tecnologias modernas para lavra, em maciço rochoso, principalmente em pedreiras de granito e mármore, em lavra a céu aberto (geralmente enquadram-se todas as lavras de rochas ornamentais). Também é largamente utilizada em rompimento de concreto de obras civis, corte de pilares, pontes, valas, vigas, etc..

Ela mostra que é um bom aplicativo no corte de blocos, com desempenho satisfatório nos aspectos técnico, operacional e ambiental. Entretanto, o aspecto econômico inibe o incremento do uso de argamassa expansiva, uma vez que o seu custo operacional é superior ao valor do desmonte convencional (perfuração e explosivo).

Dois fatores negativos marcantes no uso da argamassa expansiva são o tempo de desmonte e o custo da argamassa. No caso do uso de explosivos, tem-se um desmonte imediato da rocha após a preparação para o processo, embora leve em conta às interrupções necessárias por medida de segurança, já usando fio diamantado, tem-se um corte um pouco mais lento, embora ainda mais rápido do que o período no corte com argamassa expansiva, podendo este período alcançar às 24 horas (da argamassa), dependendo da resistência do material a ser demolido.

Conforme o fabricante de argamassa expansiva inúmeras são as vantagens para lavra de rochas ornamentais, pois é necessário o mínimo de perfurações na rocha, além de não provocar impacto ambiental e ser de simples aplicação não necessitando assim de mão-de-obra qualificada. Outra vantagem importante é a resposta no corte, resultando em fissuras lineares contribuindo para o melhor aproveitamento e acabamento dos blocos de granito.

O efeito expansivo da argamassa resulta em corte linear, sem a necessidade de uso de explosivos, rompedores, cunhas, fios diamantados ou outros métodos de corte de rocha. A argamassa expansiva reduz o número de perfurações, aumentando assim a produção e a qualidade do produto obtido. Seu alto efeito de expansão permite cortes na vertical e horizontal, em blocos soltos, bancadas ou em pranchas.

Beneficiamento das rochas ornamentais

O beneficiamento (processo de semitransformação ou de transformação) é feito em máquinas denominadas de teares em unidades chamadas de serrarias. O tear de lâminas é possui de múltiplas lâminas de aço, que auxiliada por uma lama abrasiva é composta de granalha de aço, cal e água (esses dois últimos lubrificam as lâminas e evitam a oxidação do aço da granalha e lâmina) onde os blocos de granitos são cortados num movimento de vai-e-vem.

O beneficiamento da polidora (máquina) consiste em três fases:

1. Levigamento: retificação da superfície da chapa, deixando-a perfeitamente plana, porém ainda áspera;
2. Fechamento: tirar a aspereza da chapa, deixando-a com superfície perfeitamente lisa, mas não brilhante;
3. Polimento: deixar a superfície brilhante.

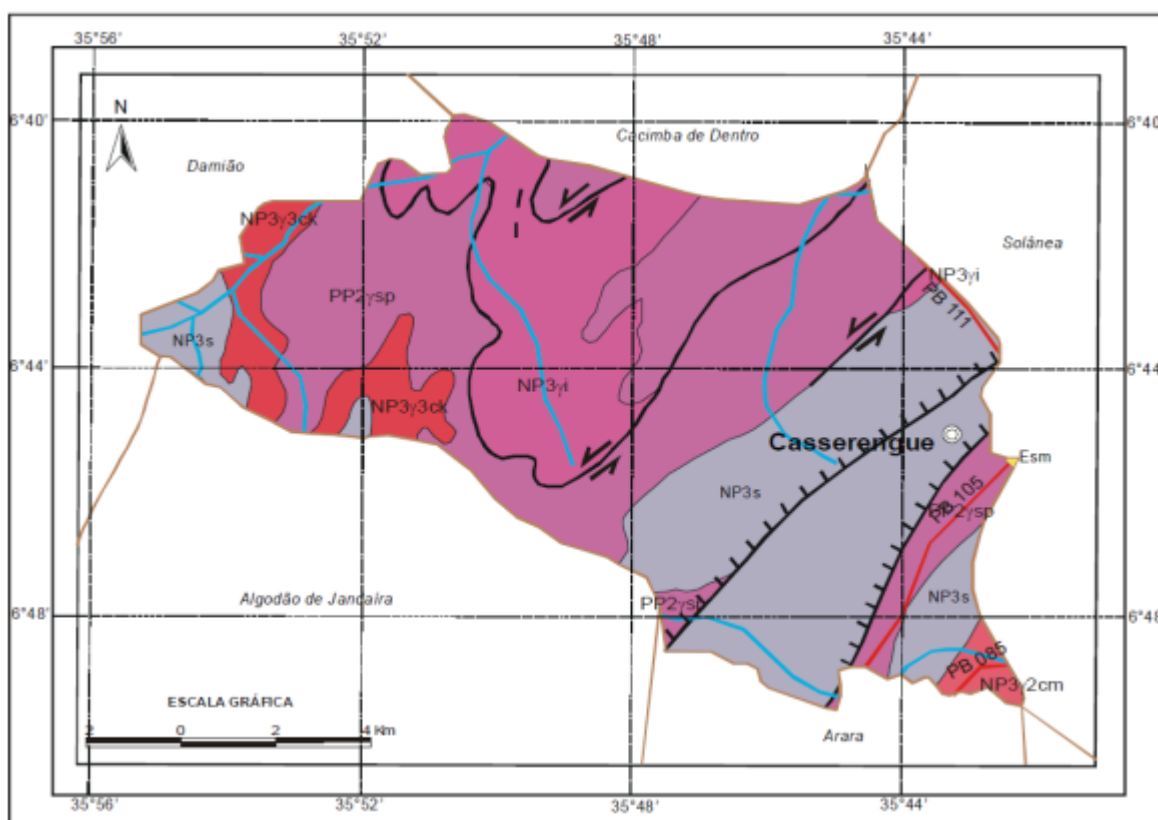
A empresa Top Stone Granitos e Mármore Ltda.

A Top Stone Granitos e Mármore Ltda., é uma empresa brasileira com sede em São Gonçalo – RJ especializada em exportação de granitos, e foi idealizada por um grupo empresarial que atua há mais de 43 anos no mercado de mineração de agregados, utilizados basicamente na construção civil, bem como no que diz respeito à arquitetura e decoração de prédios e ambientes. As chapas produzidas são de granitos com diversas texturas, espessuras e cores.



Figura 6 - Mapa de localização do Município de Casserengue -PB.

O granito (denominado de Preto São Marcos - PSM) é retirado pela empresa na Fazenda São Pedro (com vida útil entre 15 a 20 anos), localizada no município de Casserengue, (Curimataú Oriental, a 152 km da Capital) por argamassa expansiva (nas pranchas e/ou filões), fio adiamantado e explosivos (desmorte das rochas encaixantes) que então, é enviado por carretas para o beneficiamento em Campina Grande (pela empresa Granfuji - Mármore e Granitos) – PB.



Mapa geológico de Casserengue

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozóico

Esm Formação Serra dos Martins (sm): arenito médio a conglomerático

Neoproterozóico

NP3_{3sk} Suíte shoshonítica ultrapotássica Triunfo (sk): biotita-hornblenda-piroxênio-alcalifeldspato granito/sienito

NP3_{2cm} Suíte calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfirítico associado a diorito (588 Ma U-Pb)





NP3_{1j} Granitóides indiscriminados: granito, granosiorito, monzogranito

NP3_s Grupo Seridó (s): xisto, quartzito, mármore e rocha calcissilicática

Paleoproterozóico

PP2_{sp} Complexo Santa Cruz: augen-gnaiss granítico, leuco-ortognaiss quartzo monzonítico a granítico (2069 Ma U-Pb)

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

-  Contato geológico
-  Falha ou Zona de Cisalhamento Extensional
-  Falha ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral
-  Lineamentos estruturais (Traços de Superfícies)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS





-  Sede Municipal
-  Rodovias
-  Limites Intermunicipais
-  Rios e riachos

Figura 7 - Mapa geológico do município de Casserengue - PB.

No processo de beneficiamento os blocos são cortados em chapas, polidos, classificados de acordo com sua homogeneidade e cor, e vendidos para os mercados interno e externo (Itália e EUA). Na Itália, onde blocos são importados, o granito passa pelo processo de beneficiamento (produção de pisos, balcão e mesa, entre outros).



Figura 08 - Blocos de granito na praça.

Há cinco anos no mercado, a empresa se especializou na comercialização de rochas ornamentais brasileiras, oferecendo uma gama de produtos que são vendidos para diversos mercados do mundo.

O município de Casserengue está inserido na unidade geoambiental dos Serrotes, Inselbergues e Maciços Residuais. As áreas dessa unidade situam-se em altitudes de 200 a 500 metros, compreendendo elevações geralmente formadas por grandes penhascos rochosos, que ocorrem em algumas áreas das planícies dos sertões de Sergipe, Alagoas, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Nos piemontes (Região situada entre a montanha e a planície) dessas elevações são freqüentes os solos profundos e de alta

fertilidade natural. A vegetação é de Caatinga Hipoxerófila, com pequenas áreas de Florestas Caducifólia.

O granito explorado é situado na parte sul da unidade geotectônica “Maciço São José do Campestre” (Dantas *et al.*, 1998) da Província Estrutural Borborema (Região de Dobramentos Nordeste). As principais unidades lito-estratigráficas expostas na região incluem: um embasamento arqueano composto de complexos gnáissicos migmatíticos; faixas supracrustais de rochas metassedimentares de idade proterozóica; e mais de uma suíte de granitóides intrusivos de idade Brasiliana. Falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes de idade Brasiliana são feições estruturais mais importantes da região.

O granito Preto São Marcos, não apresenta qualquer fábrica tectônica (foliação ou lineação). Os elementos estruturais comuns são fraturas preenchidas e, localmente, zonas de cisalhamento. As relações de campo sugerem que o granito Preto São Marcos pertence a uma das suítes de granitos Brasilianos. O granito aflora em forma de matações e maciços sendo classificado mineralogicamente por Piroxênio-Biotita Diorito, o mesmo apresenta um aspecto quase homogêneo, tanto na cor como na textura. Pode ser descrito como uma rocha ígnea, melanocrática, de granulometria média a grossa e textura hipidiomórfica a porfiirítica com fenocristais (Lima *et al.*, 2001).

CONCLUSÃO

O uso da argamassa expansiva tem grande importância em locais próximo às comunidades onde vibrações, lançamentos de fragmentos, poeiras, ruídos etc. não são provocados em comparação com os explosivos, assim diminuindo os conflitos existentes entre a empresa de mineração e a população, além de possuir inúmeras vantagens na segurança do trabalhador, na área ambiental e comparados com outros métodos de mesma finalidade.

Há cinco anos no mercado, a empresa Top Stone Granitos e Mármore LTDA. se especializou na comercialização de rochas ornamentais brasileiras, oferecendo uma gama de produtos que são vendidos para diversos mercados do mundo. A Top Stone possui uma licença ambiental, tornando-se assim, um instrumento de proteção e melhoria no meio ambiente. A empresa utiliza para a extração dos blocos a argamassa expansiva, fio diamantado que é usado na separação dos blocos e explosivos.

REFERÊNCIAS

- CHIMICA EDILE.<http://www.chimicaedile.com.br/site/produtos_fractag.html>. Acesso em 18 de Maio de 2011.
- DEMOX. <<http://www.rogertec.com.br/produtos\demox.pdf>>. Acesso em 18 de Maio de 2011.
- EXPLONORTE perfuração e desmonte de rocha.<<http://www.explonorte.com/>>. Acesso em 15 de Maio de 2011.
- FICHA técnica – Argamassa expansiva de encunhamento. www.quimiflex.com/fichatecnica/Ficha_Tecnica-ArgamassaExpansiva.pdf>. Acesso em 15 de Maio de 2011.
- FILHO, Wesley. Argamassa expansiva, UFOP, 2010. www.ufop.br/demin/arquivos/beneficiamento_mineral/ARGAMASSA%20EXPANSIVA.pdf>. Acesso em 19 de Junho de 2011.
- LIMA, R. R.; AGRAWAL, V. N.; LIMA, A. A.; LIMA, W. B. C. Característica petrográfica e metodologia de lavra adotada para exploração do granito ornamental Preto São Marcos-Casserengue (PB): NATAL: In: XIX SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 2001. Resumos v. 17. p. 177.
- MENEZES, Ricardo. Curso de Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais: Rio de Janeiro, Agosto de 2005. Disponível em <www.cprm.gov.br/publique/media/mono_ricardo_menezes.pdf>. Acesso em 18 de Maio de 2011.

NETO, Tito. Problemas Gerados pela Extração de Rochas e Propostas para Mitigação do Impacto Sonoro: Rio de Janeiro – RJ, Junho de 2006.<http://teses.ufrj.br/COPPE_M/TitoLuizDeAraujoNeto.pdf>. Acesso em 19 de Maio de 2011.

SOUSA, Antônio. Desenvolvimento de argamassa expansiva para lavra de rochas ornamentais utilizando minerais não-metálicos da Região Nordeste do Brasil, 2007.

CARACTERIZAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DO MÁRMORE COMPONENTE DAS BANHEIRAS HISTÓRICAS SITUADAS NO PARQUE NACIONAL DA TIJUCA

R. C. C. Ribeiro¹

¹Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 21941-908. e-mail: rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

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 à caracterização da deterioração do mármore que compõe essas banheiras, foram realizados: reconhecimento de campo; coleta de amostras; submissão destas, à análises químicas, 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.

Palavras-chave: Rochas ornamentais; alterabilidade de rochas; caracterização de rochas.

1. INTRODUÇÃO

O Parque Nacional da Tijuca nasceu sob o propósito de preservação de espécies da fauna e flora brasileiras. É considerada a maior floresta urbana do mundo e tem grande importância ambiental e cultural para a cidade do Rio de Janeiro. O Parque está localizado no Maciço da Tijuca, incluindo as Serras dos Três Rios, da Carioca e o grupo Pedra da Gávea. Está em uma região acidentada, compreendendo um bloco falhado da Serra do Mar (IBAMA).

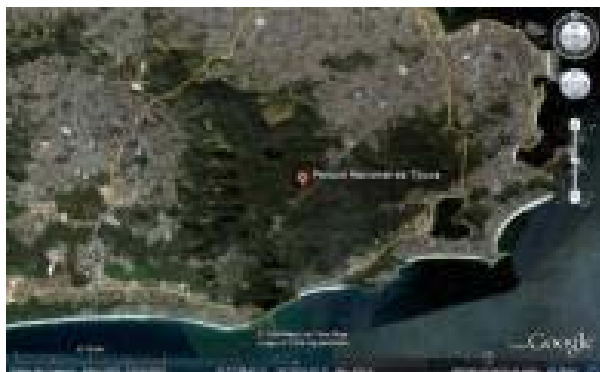


Figura 1 - Mapa de Localização.

O clima do Parque, devido à orientação do Maciço da Tijuca, apresenta abundantes precipitações com ausência de período seco no inverno. Locais situados até 500 m possuem clima de áreas tropicais e acima dos 500 m, a temperatura é do tipo climático temperado. Prevalece a vegetação de Mata Atlântica, que exhibe uma série de fisionomias com características particulares, tanto na composição da sua flora quanto na sua estrutura fitossociológica. Infelizmente este exuberante bioma vem experimentando um crescente e irreversível processo de fragmentação (IBAMA). Por ser urbana, a Floresta da Tijuca está constantemente exposta às consequências da atividade humana.

Encontram-se no Parque Nacional da Tijuca, como patrimônio cultural, importantes acervos e monumentos históricos, mais precisamente no Alto da Boa Vista onde é possível encontrar banheiras feitas de mármore distribuídas aleatoriamente no parque e em diferentes estados de conservação (Figura 2).



Figura 2 - Banheiras em mármore em diferentes estados de deterioração

2. OBJETIVO

Diante ao estado de conservação das banheiras localizadas na Floresta da Tijuca, mais especificamente Alto da Boa Vista, a presente pesquisa tem a finalidade de analisar a deterioração imposta ao mármore constituinte e a partir disso tentar identificar o principal agente causador dos danos observados.

3. METODOLOGIA

3.1 Identificação das Patologias e Coleta de amostras

A análise desenvolvida teve como base a identificação *in situ* das diversas patologias presentes nas banheiras. A coleta das amostras foi acompanhada pelas restauradoras da Associação de Amigos dos Monumentos e Obras de Arte do Rio – AmoRio, que indicaram o lugar mais apropriado sem o prejuízo para a peça. Das cinco banheiras presentes na área, foram coletadas amostras em duas banheiras, que visualmente pareciam estar em pior estado de alteração e de uma amostra de material esbranquiçado possivelmente produto de alteração.

3.2 Análise Química

Foram feitas análises químicas das amostras coletada a fim de se determinar a percentagem de cálcio e magnésio e então classificar o tipo de mármore.

3.3 Análise Petrográfica

A análise petrográfica teve o objetivo de identificar as texturas nas amostras das banheiras, bem como verificar as alterações presentes. As amostras foram analisadas através de lâminas em Lupa binocular e Microscópio petrográfico.

3.4 Difração de Raios-X

Os difratogramas de raios-X das amostras, obtidos pelo método do pó, foram coletados em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02°2 θ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a 80° 2 θ com detector linear sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker DiffracPlus.

3.5. Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva

O material coletado foi submetido a análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de Sistema de Energia Dispersiva (EDS) acoplado.

Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de Raios-X característicos (Duarte et al, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Identificação das Patologias

As banheiras estudadas estão situadas em uma área de florestas, nas proximidades da cidade, estando sujeitas aos efeitos climáticos regionais, acentuado pelos efeitos locais resultante da alta umidade, dos poluentes atmosféricos, chuvas ácidas entre outros. Todos estes processos intempéricos acabam por fim arruinando as peças ali presentes, principalmente como perda de material rochoso, mudança na coloração (manchamento e descoloração), depósito, desintegração e fissuras. Na figura 3 observa-se a deterioração por solubilidade em ácidos naturais ou artificiais, que com o tempo afetam a estética da peça.

As modificações na coloração podem estar relacionadas à precipitação de hidróxidos de ferro e/ou de cimento carbonático hidratado; à deposição de sujeiras na superfície – ocasionando a aparência amarelada e encardida – ou mesmo à percolação da água da chuva na maior parte das vezes com CO₂ diluído. Observa-se também mudança na cor causada pela presença superficial de plantas aéreas e microorganismos (Figura 4). As plantas aéreas e os microorganismos possuem cor verde, mas com sua morte adquirem cor preta (Philipp & Benedetti, 2007).



Figura 3 - Perda de massa rochosa devido à dissolução em meio ambiente quimicamente agressivo.



Figura 4 - Manchas causando a modificação da coloração.

A presença de trinca e fraturas pode estar associada a diversos fatores, como a falta de cuidado dos usuários do parque que entram em contato com as peças de maneira inadequada, ao elevado índice de dilatação térmica devido à exposição a amplas variações térmicas, ou mesmo a baixa resistência ao impacto devido ao tráfego de veículos no local. (Figura 5).



Figura 5 - Fissuras e fraturas encontradas nas banheiras

Figura 6 - Deposição de material devido à solubilização.

Observou-se localmente a precipitação de material esbranquiçado, possivelmente resultante da solubilização do carbonato (Figura 6). Este material também aparece preenchendo pequenas fraturas.

4.2 Análise Química

Os resultados da análise química demonstraram a predominância na percentagem de cálcio sobre o magnésio caracterizando um mármore calcítico. Com relação aos outros elementos analisados pode-se verificar um aumento no percentual de alumínio na amostra de alteração, assim como do magnésio e anidrido silícico. Já para o cálcio, houve uma diminuição na percentagem. Comparando as percentagens dos elementos estudados da amostra da banheira 1 e 2 temos valores aproximados, tanto para cálcio, como para magnésio que são elementos dos minerais, calcita e dolomita, constituintes do mármore (Tabela 1).

Segundo Lazzarini & Tabasso (1986) ambos minerais se caracterizam por apresentar baixa estabilidade em condições intempéricas, principalmente em presença de água. O íon CO_3^{-2} é muito instável em presença do íon H^+ (Philipp & Benedetti, 2007). A calcita, a temperatura ambiente, é pouco solúvel na água pura, mas quando em contato com anidrido carbônico dissolvido em água torna-se muito solúvel. A dolomita também é solúvel em água carbônica, mesmo que menor quantidade. Este fato pode explicar a diminuição da percentagem de Cálcio na amostra de alteração.

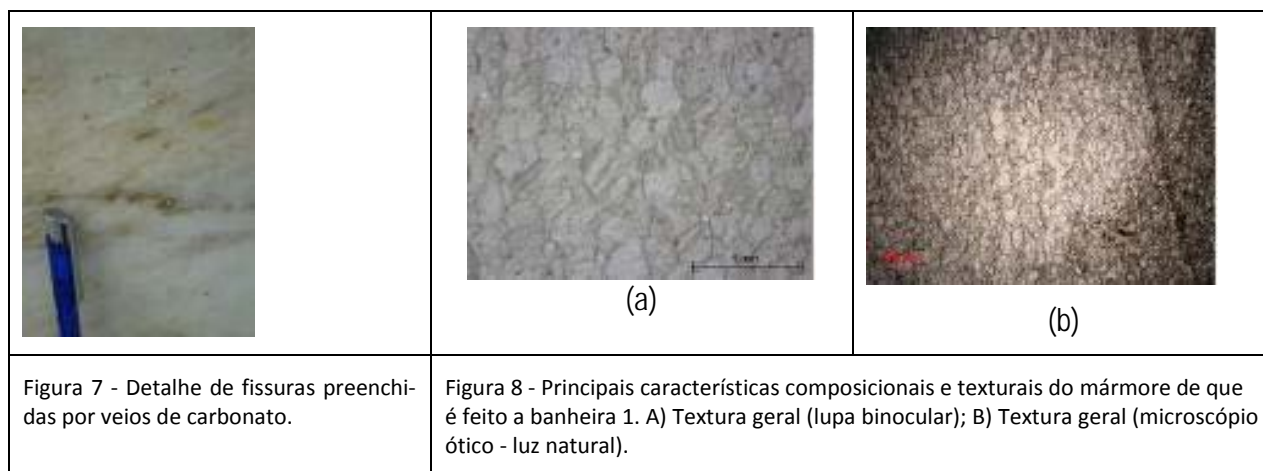
Tabela 1 - Percentagem de Al, Ca, Mg e Si

Amostras	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2
Banheira 1	0,16	37,8	0,42	2,9
Banheira 2	0,94	34,3	0,77	0,90
Alteração	16,8	24,6	8,7	14,9

4.3 Análise Petrográfica

As banheiras são feitas de mármore branco, com alguns veios acinzentados com tamanho variando de alguns milímetros a 1 centímetro. Localmente ocorrem fissuras preenchidas por veios de carbonato de pequenas espessuras e limites curvilíneos (Figura 7).

Microscopicamente as duas banheiras estudadas correspondem a mármore calcíticos, textura granoblástica poligonal média a grossa, o tamanho dos cristais variam entre 1 a 2 mm, podendo atingir 2 cm (Figura 8). Nas duas banheiras a análise petrográfica demonstrou zonas com maior alteração, que são caracterizadas pela recristalização da calcita com cristais idiomórficos de pequeno tamanhos. Nota-se ainda, porções com dissolução dos grãos total ou parcial formando pequenas cavidades.



4.4 Difração de Raios-X

Analisando os difratogramas de Raios-X, observa-se que nas banheiras 1 e 2, os maiores picos de intensidade são oriundos da calcita. Já na amostra recolhida proveniente da alteração, percebe-se que esses picos estão indicando a presença de dolomita e quartzo (Figura 9).

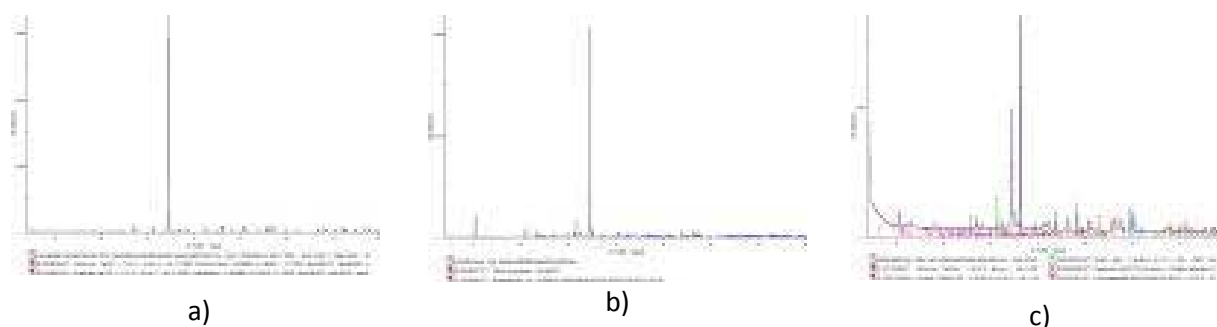


Figura 9 - Difratograma de Raios-X das amostras das banheiras 1 e 2 e da alteração: a) e b) Presença de picos de intensidade essencialmente de calcita; c) Nota-se com facilidade a diminuição na intensidade do pico da calcita e o surgimento de picos relativos a outros minerais.

A Difração de Raios-X corrobora o que já havia sido observado na análise química: presença quase que exclusiva de calcita nas banheiras 1 e 2, e na alteração, a presença de outros minerais além dos formados por carbonato de cálcio.

4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva

Ao analisar as imagens concedidas pelo MEV, é possível chegar à mesma conclusão que as análises anteriores. Examinando a Figura 10, observa-se com clareza a clivagem característica da calcita, assim como os planos extremos dos blastos, distintos do sistema cristalino romboédrico.



Figura 10 - Imagens do mármore proveniente das banheiras 1 e 2 e alteração, respectivamente.

Em relação ao material oriundo da alteração, percebe-se, agora sem muita clareza, em alguns grãos, a clivagem da calcita, porém de maneira muito mais difusa do que o visto nas imagens anteriores.

Os dados do EDS mais uma vez corroboram com os resultados anteriores. Na Figura 11 observam-se picos de intensidade indicando a existência de calcita tanto no material procedente da banheira 1 quanto da banheira 2 e a presença de outros minerais, quando se concerne o material originário da alteração.

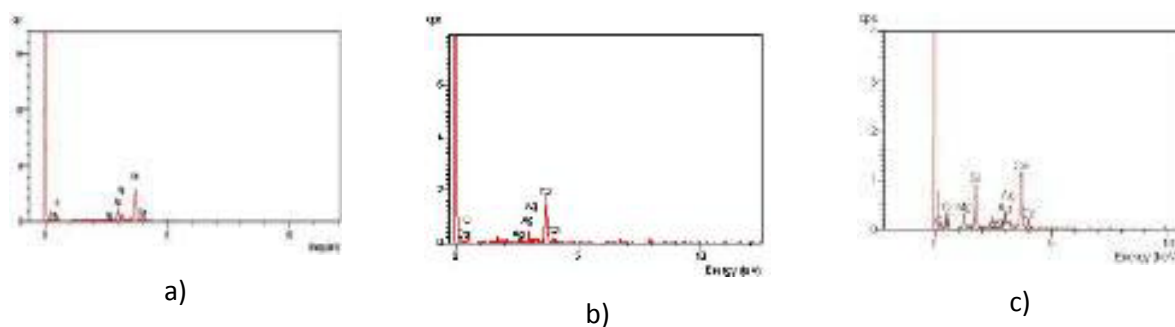


Figura 11 - Picos de Intensidade na banheira 1 (a) e 2 (b) e alteração (c), respectivamente. Exclui-se a presença da prata para fins de interpretação, pois esta foi usada apenas com a finalidade de metalização do material para que ensaio no MEV fosse possível.

No ensaio de EDS, verificam-se intensidades de outros elementos na Figura 4.9 c) e, tendo como base os ensaios anteriores, pode-se concluir que a alteração das banheiras resultou nos elementos formadores dos minerais quartzo e dolomita, que foram apontados na difração de Raios-X da mesma amostra.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a deterioração ocorrida nas banheiras de mármore situadas na Floresta da Tijuca, precisamente no Alto da Boa Vista, é resultado da interação entre a rocha e os agentes intempéricos, aliados à má utilização das peças.

As patologias encontradas, associadas à falta de manutenção e de cuidado por parte dos usuários do parque causam fissuras e fraturas e, por conseguinte maior vulnerabilidade nas peças, uma vez que é através destas que acontecem a absorção e percolação de água em seu interior.

É possível concluir também que as zonas de maior alteração nas amostras estudadas são caracterizadas principalmente pela solubilidade da calcita em águas de caráter ácido através de análise petrográfica ratificada pela difração de Raios-X assim como pelo EDS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B.. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. Pesquisas em Geociências, v.30(2) p.3-15, 2003

IBAMA. Unidade: Parque Nacional da Tijuca. IBAMA, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/siucweb/mostraUc.php?seqUc=7> Acesso em 28 de abril de 2009.

LAZZARINI L., TABASSO M.L. *Il Restauro della Pietra*. 1 ed. Padova, CEDAM, 1986. 315p.

PHILIPP, R. P.; BENEDETTI, V. D. Análise e avaliação da deterioração do revestimento de mármore da cúpula da Catedral Metropolitana de Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Geociências*. V.37(4) p.650-659, dezembro de 2007

REED, S. J. B. 1996. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, New York, Cambridge University Press. 201 p.

VARIAÇÕES NA TONALIDADE BORDÔ EM GRANITO PEGMATÍTICO DA PEDREIRA TAMANDUÁ, MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADAPB

Francisco de Assis Souza, Antônio de Pádua C. de Lima Sobrinho, Augusto César R. de Lima, Antônio Renato Gadelha Brito, Gilcélcio Cordeiro Costa.

Curso Técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba – IFPB
Acesso Rodovia PB 151, S/N, Bairro Cenecista, Picuí, PB, 58187-000. e-mail: franciscosouza.ifpb@gmail.com

RESUMO

O município de Pedra Lavrada, localizado no seridó paraibano, destaca-se pela exploração mineral tanto para fins industriais como ornamentais, à frente de vários outros da Província Pegmatítica Borborema. Os granitos pegmatíticos ou simplesmente pegmatitos, afloram em grande parte dos terrenos cristalinos do município. O extrativismo mineral dá suporte à sustentabilidade econômica e à qualidade de vida de centenas de garimpeiros que vendem seus produtos a grandes empresas, garantindo melhorias na qualidade de vida das suas famílias. A extração de rochas ornamentais tem um perfil diverso do garimpo, a qual explora grandes corpos de granito pegmatítico de forma ordenada, utilizando tecnologia avançada para extrair grandes blocos de rocha. A Pedreira Tamanduá, localizada no sítio homônimo, é um exemplo paradoxal entre a lavra rudimentar do garimpo e a mecanizada para fins ornamentais. Ambos têm em comum a geração de enormes passivos ambientais. A pedreira em tela, atualmente desativada, explorou um grande corpo de granito a pegmatito englobando enclaves de granada biotita-xisto, caracterizando-o geneticamente como plúton posicionado na base da camada xistosa, revelando o fenômeno da “fusão parcial” da rocha encaixante. Torna-se evidente a estreita relação entre a variedade de tonalidades “bordô” do corpo granítico e o fenômeno da “fusão parcial” por neoformação da granada e pela migração do ferro da rocha encaixante para o pegmatito. O granito explorado na referida pedreira foi denominado popularmente de “quatro estações” de acordo com a variação da tonalidade. Tal fato, associado à heterogeneidade textural e à abundância de xenólitos de xisto deletérios à rocha ornamental, dificultou sua padronização para comercialização no mercado consumidor, culminando com a desativação da pedreira. Consequentemente foi gerado um grande problema ambiental com o abandono dos blocos de todas as dimensões no entorno da pedreira, os rejeitos finos estão sendo gradativamente carreados para a bacia de um pequeno açude a jusante e a recuperação da área degradada por desmatamento não foi feita, gerando danos ao meio ambiente local.

Palavras chave: Pedreira, Degradação, Rejeito, Rochas ornamentais, Pavimentação

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa e prospecção têm evoluído desde os primórdios da humanidade até os dias atuais, de forma a nos proporcionar maior segurança nas tomadas de decisão no que diz respeito à diferenciação entre ocorrência e uma jazida mineral. Novas metodologias são testadas, a maioria com sucesso, como por exemplo a geoquímica, a sondagem com testemunhos de rocha, ensaios tecnológicos, entre outros, objetivando a quantificação e qualificação, mercado consumidor do minério de interesse, para que o custo benefício seja satisfatório, ou seja, a jazida a ser explotada tenha uma vida útil longa, de forma a garantir o retorno financeiro dos investimentos feitos desde a fase de pesquisa até o fechamento da jazida, como também as despesas inerentes à extração, beneficiamento e comercialização do minério, recuperação ambiental da área degradada e lucro empresarial.

A atividade garimpeira é informal, sem nenhuma logística, onde o minério é extraído de forma rudimentar, nos mesmos moldes dos antepassados, sem agregação de valor, de maneira que o produto é repassado a atravessadores ainda na forma bruta, a preços irrisórios. O dinheiro obtido com as vendas

dá muito mal para o pagamento das despesas e o sustento da família. Atualmente as cooperativas estão tentando mudar esta realidade. Na extração de rochas para fins ornamentais a realidade é diferente dos garimpos, com atividades planejadas, gerando emprego e renda. Grandes empresas se instalaram na região disponibilizando altas tecnologias na produção dos blocos destinados ao desdobramento em chapas para revestimento de paredes, pias, mesas, soleiras, arte funerária, etc.

A Pedreira Tamanduá - nome da jazida de rocha cristalina para fins ornamentais objeto do presente estudo – teve sua fase de pesquisa e prospecção aparentemente bem planejada, constando de sondagens com testemunhos, culminando com o planejamento de recuperação da degradação ambiental decorrente da mineração. Entretanto, as atividades foram paralisadas após 5 anos do início da exploração, principalmente devido a dois fatores: a heterogeneidade textural e cromática do corpo ígneo. Certamente a ausência de um geólogo especialista tenha provocado falhas do dimensionamento correto da jazida, pois o mapeamento geológico do plúton granítico e das encaixantes, juntamente com a descrição detalhada dos testemunhos de sondagem teriam contribuído com o perfeito dimensionamento e a viabilidade econômica da jazida.

2. CARACTERIZAÇÃO GLOBAL DA PEDREIRA TAMANDUÁ

2.1 Localização e Vias de Acesso

A Pedreira Tamanduá está situada no município de Pedra Lavrada-PB, microrregião seridó oriental paraibano. Posiciona-se a cerca de 6 quilômetros da sede do município, no quadrante sudeste, com acesso pela rodovia PB-177 a partir da cidade de Pedra Lavrada em direção a Soledade (Figura 1). Após 5 quilômetros em estrada asfaltada, toma-se uma estrada vicinal à margem esquerda e após cerca de 1 km adentra-se a pedreira. Um fator importante é a proximidade do município da BR-230, que funciona como corredor de distribuição dos blocos de rocha para os grandes centros de beneficiamento e consumo tais como Campina Grande, João Pessoa, Recife, Natal, Fortaleza e até para exportação através dos portos litorâneos.

2.2 Geologia Local

De acordo com o mapa geológico do estado da Paraíba (in Santos, et. al., 2002) os litótipos que constituem a Pedreira Tamanduá são denominados de Suíte leucogranítica peraluminosa, intrusiva nos tratos da Província Borborema de Almeida et. al. (1967), mais precisamente na Faixa Seridó. Jardim de Sá (1984) descreveu-a como sendo representada por ilmenita granitos e leucogranitos com biotita (muscovita, granada), exibindo comumente feições migmatíticas. Este autor propõe uma evolução para subtipos especializados, que seriam a fonte de depósitos granitófilos de W e pegmatíticos (ricos em Be, Li, Ta-Nb e Sn) da Faixa Seridó. Estão posicionados tectonicamente no Neoproterozóico, relacionados à orogênese brasileira, cujo episódio principal ocorreu no intervalo de tempo geológico entre 640 e 570 Ma.

Estudos de campo comprovam as feições genéticas destes plútons como tendo sido colocados na base do Grupo Seridó (do Proterozóico Médio ao Superior), sob processo de ultrametamorfismo com anetexia parcial da crosta sílica regionalmente representada pelos granada biotita-xistos, característicos da série de “plútons tipo S” de Biondi (1983). Enclaves do granada biotita-xisto englobados pela massa granítica (Figs. 2 e 3) comprovam uma estreita interação entre intrusiva e encaixante no processo “intrusão-fusão-disgestão-neoformação mineral.

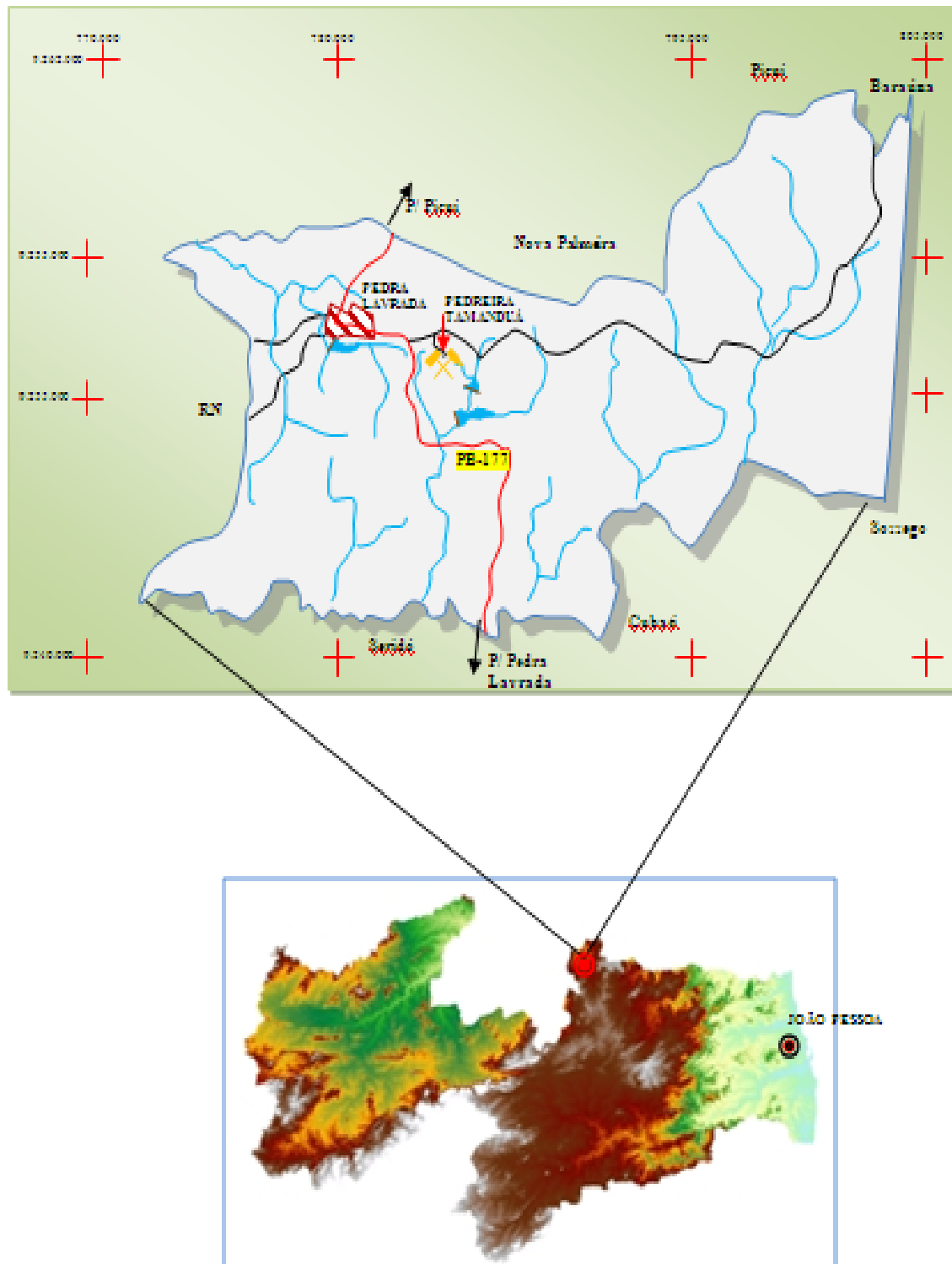


Figura 1 - Mapa de localização da Pedreira Tamanduá no município de Pedra Lavrada



Figura 2 - Enclave de granada biotita-xisto englobado por granito a pegmatito em parede vertical, na frente de lavra da Pedreira Tamanduá. Observar veio de pegmatito preenchendo planos de fraqueza no xisto e borda de reação com concentração de ferro no contato.

2. PROCESSO DE LAVRA

2.1 O Corte

A área onde se estabeleceu a Pedreira Tamanduá possui topografia com topo plano e encosta com declividade íngreme, condicionando o planejamento da frente de lavra em bancadas, formando degraus sucessivos da base para o topo da encosta, sempre com direção geral sul – norte. A presença de vários pedaços de testemunhos de sondagem abandonados no entorno da jazida evidenciam estudos detalhados concomitantes com sua exploração, no sentido de investigação em subsuperfície e delimitação do corpo economicamente explotável. Inicialmente o desmonte era feito com explosivos, porém esta técnica foi abandonada, dando lugar ao corte com massa expansiva, ao fio diamantado e ao “jet flame”, como forma de agregar tecnologia operacionalmente mais vantajosas.

Para aplicação do corte com massa expansiva foram efetuados furos coplanares com espaçamento de 20 cm, utilizando-se do martelo pneumático. Posteriormente os furos foram preenchidos com a massa expansiva, que ao reagir quimicamente com a água aumenta de volume em até quatro vezes, provocando o corte dos blocos de rocha. O fio diamantado proporcionou cortes contínuos sem a necessidade de furos, liberando toda a superfície desejada, lisa, sem ranhuras. Como mostrado na Figura 4, na maioria das vezes as duas metodologias foram usadas em conjunto, em função da geometria da frente de lavra e da produtividade da jazida. O “jet flame” foi usado em menor escala para cortes laterais, devido a custos operacionais, heterogeneidade da rocha e calor excessivo.



Figura 4 - Corte de rocha com massa expansiva (ME) e fio diamantado (FD) em frentes de lavra da Pedreira Tamanduá.

Observar a formação de fraturas de alívio (FA) nos blocos superiores direito e esquerdo, um fenômeno resultante do corte da rocha para obtenção dos blocos é a formação de fraturas de alívio de tensões nas bancadas da frente de lavras, apesar da utilização de massa expansiva e fio diamantado, os quais tendem a causar danos mínimos às rochas durante o processo de corte, fazendo com que a bancada remanescente permaneça praticamente intacta. Lima et. al. (2008), advogam que a propagação das fraturas em bancadas ou pranchas decorrentes da lavra pode ser o resultado da redistribuição e concentração das tensões no plúton granítico, podendo influenciar negativamente na viabilidade econômica da jazida.

Modelos geométricos clássicos e o desenvolvimento atual de softwares procuram explicar resultados de ensaios de laboratório em amostras de rochas quando submetidas a tensão e tração uniaxial e triaxial. Porém, sabemos que a formação de um plúton granítico ocorre sob condições de confinamento e pressão litostática elevadas e que, ao aflorarem, são submetidos sob às novas condições superficiais, ocorre um desmantelamento do estado de tensões originais, as quais passarão e serem regidas pelas forças gravitacionais. Ocorre o que poderemos denominar de “Estado Crítico de Tensão”. O corte da rocha na frente de lavra provoca uma descompressão brusca nas componentes verticais e horizontais do maciço rochoso, gerando expansão e conseqüentemente as fraturas de alívio, ou tração.

2.1 O Tombamento Armazenamento e Transporte

São as etapas conclusivas do processo de lavra das rochas ornamentais (Figura 5). Na pedreira Tamanduá o tombamento dos blocos cortados são tombados realizando um furo com martelo pneumático na parte superior do bloco, colocando uma haste de ferro (pixote) e puxando com cabo de aço e trator, tomando-se o cuidado de fazer um colchão de areia, evitando-se assim danos ao bloco. Os blocos são estocados no pátio à espera dos caminhões que irão fazer o transporte para as unidade de beneficiamento. O pau de carga, guincho de madeira em forma de mastro, servem para içar o bloco até a carroceria do caminhão.



Figura 5 - Tombamento e armazenamento de blocos e pau de carga

5. A HETEROGENEIDADE CROMÁTICA E TEXTURAL DA PEDREIRA

A Pedreira Tamanduá, que após cerca de 5 anos explotando rochas ornamentais encontra-se com suas atividades paralisadas. Supostamente todas as etapas preliminares foram seguidas, incluindo ensaios tecnológicos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, (padrões cromáticos, resistência, petrografia, durabilidade, etc.), sondagens, cubagem, antes do início da lavra.

O maciço granítico em tela está geneticamente relacionado a um magma intrusivo na base da crosta sílica, sob elevadas condições de temperatura, em regime de ultrametamorfismo, provocando anatexia parcial dos granada biotita-xistos encaixantes, restando enclaves imersos no plúton. A resultante da interação intrusiva-encaixante foi o novo equilíbrio físico-químico entre as duas “misturas”, com neoformação mineral, exemplificando-se a transformação das micas em granada e feldspato, como relatado por Deer, et. al. (1966), ao descrever os modos de ocorrência da almandina. O ferro excedente que não participou das reações químicas de neoformação, migrou para as estruturas do quartzo e feldspato, imprimindo à rocha acamamentos irregulares de tonalidade castanha clara a escura dispersos em um arcabouço cinza, provocando uma variedade cromática de no mínimo quatro cores distintas (Figura 6).

Os enclaves de xisto mostram elevado enriquecimento de ferro nas zonas adjacentes e no contato com a encaixante (Figura 7). Nos paredões das frentes de lavra torna-se evidente a relação entre a variedade de cores do granito e a fusão parcial do xisto, com certa preservação da estrutura primária, imprimindo caráter híbrido à rocha de xisto-granito. Em um destes paredões (Figura 8), a evidência torna-se mais forte, com um enclave bem preservado em regime de temperatura mais baixa e o restante da encaixante parcialmente fundida. Portanto, podemos afirmar categoricamente que as quatro cores bordô mostradas nos blocos cortados na lavra (Figura 9) relacionam-se geneticamente à dispersão do ferro na rocha durante o processo fusão parcial da encaixante pelo magma intrusivo.

A variedade textural da rocha pode estar relacionada às correntes de convecção e mudanças progressivas de temperatura (geotermas) e profundidade do magma (Figura 10). Nas amostras de mão e de testemunhos de sondagem a textura varia de média a pegmatítica, porém, sem variações significativas na composição mineralógica, observando-se somente variações nas cores e tamanho dos cristais. Em todas as amostras a mineralogia predominante é quartzo, feldspato, muscovita, biotita e granada como mineral acessório. A flogopita aparece por vezes nas zonas alteradas.

De posse dos dados obtidos na jazida (estudos de afloramentos, blocos, amostras de mão e testemunhos de sonda), denota-se a forte anisotropia da rocha, seja cromática ou textural, de grande beleza, mesmo na rocha bruta. Contudo, faltou dados petrográficos e de ensaios tecnológicos para analisarmos detalhadamente o por quê da não aceitação da rocha acabada pelo mercado. Não tivemos também aceso aos relatórios de pesquisa.



Figura 6 - Variação cromática do granito da Pedreira Tamanduá, vistos em cortes na frente de lavra



Figura 7 - Enriquecimento de ferro no contato do enclave de granada biotita-xisto com o granito encaixante



Figura 8 - Enclave de xisto preservado na encaixante. Observar o caráter híbrido da rocha com digestão parcial do xisto pelo granito



Figura 9 - Variação cromática mostrando as quatro tonalidades bordô no granito da Pedreira Tamanduá



Figura 10 - Heterogeneidade textural do granito da Pedreira Tamanduá, vistos em amostras de mão (acima) e testemunhos de sondagem (abaixo)

6. A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A preocupação da preservação ambiental parece não fazer parte dos objetivos específicos dos empreendimentos mineiros, principalmente nas regiões onde a ação fiscalizadora é precária, como é o caso do estado da Paraíba. Percebe-se claramente que as empresas mineradoras descumprem totalmente as normas impostas pelos órgãos ambientais, ou seja, PRAD e EIA-RIMA.

Na Pedreira Tamanduá, só restaram passivos ambientais. A paisagem, antes preservada, encontra-se com aspecto caótico, com a vegetação devastada, capeamento do solo não recomposto, pequeno açude

parcialmente assoreado a jusante. As bancadas da frente de lavra, com altura média de 10 metros, não possui cerca de proteção nem placas sinalizadoras avisando sobre o perigo que queda de animais ou pessoas que dali se aproximem. Os blocos de rocha, prontos para serem transportados, estão dispostos no pátio enfeitando a paisagem. Os blocos fora do padrão, classificados como rejeitos, foram amontoados no leito do pequeno riacho que deságua no pequeno açude parcialmente assoreado pelos rejeitos finos. Restou ainda o pau de carga, as ruínas do escritório e refeitório e pedaços de testemunhos de sondagem jogados no solo. Exigências para o cumprimento das normas ambientais, juntamente com uma fiscalização efetiva por parte da SUDEMA, faria com que as empresas, ao fechar suas minas, recuperassem as áreas degradadas, contribuindo no combate à desertificação do nosso semi-árido.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos prévios realizados na Pedreira Riacho do Tamanduá concluíram tratar-se de um maciço intrusivo nos granada biotita-xistos da Formação Seridó, formando uma massa granítica englobando enclaves da encaixante bom preservados ou parcialmente digeridos. Os dados de campo, obtidos em afloramentos de frente de lavra e em amostras de mão, evidenciam uma rocha de elevada anisotropia cromática e textural, o que teria levado a empresa a encerrar suas atividades na jazida, por não constituir um padrão homogêneo de revestimento. Que a anisotropia cromática, que originou o nome popular de granito “quatro estações”, está condicionada à concentração de ferro na granada e migração para a estrutura do quartzo e feldspatos de tonalidades variadas de castanho, coloração castanha. Que a problemática ambiental decorre da falta compromisso da empresa mineradora em cumprir com as normas vigentes e da precariedade da fiscalização por parte dos órgãos responsáveis em fazer cumprir o que determina a Lei.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M. de. 1967. Evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro: DGM, 36 p.
- Biondi, J.C. (1986). Depósitos Minerais Metálicos de Filiação Magmática. T. A. Queiroz, Editor, LTDA. 601 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A. e Zussman, J. (1966). *Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução*. Longman, Green and Co., Ltd. London. 558 pp.
- Jardim de Sá, E.F. 1984. Geologia da Região Seridó: Reavaliação de Dados. Simp. De Geologia do Nordeste, 11, Natal, SBG, p. 278-282,
- Lima, A.A., Lima, R.R. e Costa, J.B.B. (2008). Tensões naturais e induzidas em pedreiras de rochas ornamentais graníticas. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais, VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. P 170-181.
- Santos, E.J., Ferreira, A.A., Silva Jr., J.M.F. (2002). Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba, CPRM – Serviço Geológico d Brasil, Recife. 142 pp.



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

Apoio



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PARAIBA



Patrocínio



Realização:



Universidade Federal
de Campina Grande



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

