

**III SIMPÓSIO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS DO
NORDESTE**

**Curso de Rochas Ornamentais para Projetos
Arquitetônicos e Urbanísticos
E
Trabalhos Técnico-Científicos de Interesse
do Setor da Construção Civil**

**Hotel Recife Palace
Recife-PE/Brasil
26 a 29 de novembro de 2002**

Editor
Francisco Wilson Hollanda Vidal

III SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE
Hotel Recife Palace
Recife, PE, 26/11/02 a 29/11/02

Comissão Organizadora

Francisco Wilson Hollanda Vidal
Presidente da Comissão
CETEM/MCT

Carlos Cesar Peiter
CETEM/MCT

Vanildo Almeida Mendes
CPRM/SUREG-RE

Bartolomeu de Albuquerque Franco
Consultor

Silmara Nogueira Lima
Cobertura de Editoração

Silmara Nogueira Lima
Secretária

APRESENTAÇÃO

Com a realização deste III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, concomitante com o XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, tivemos a oportunidade de inovar, ampliando nosso campo de trabalho em pesquisa e desenvolvimento na área de Tecnologia Mineral no Brasil

Este CD-ROM registra o Curso de Rochas Ornamentais para Projetos Arquitetônicos e Urbanísticos bem como, as conferências e contribuições técnicas, apresentadas também nos Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Nele, pode ser observada uma evolução quantitativa e qualitativa dos trabalhos técnicos que têm sido apresentados, nesses eventos, desde a organização do I Simpósio, em 1998. Isto demonstra não só um crescimento, mas também um amadurecimento de nossa comunidade técnico-científica.

Os temas de interesse vêm gradativamente se modificando e se desenvolvendo ao longo dos anos, o que pode ser comprovado através do crescente interesse pelo Setor de Rochas Ornamentais em todo o seu segmento, principalmente na atividade de mineração.

As contribuições aqui publicadas foram cuidadosamente selecionadas e revisadas por um comitê editorial, às vezes um pouco rigoroso, porém, constituído por membros altamente qualificados em suas respectivas especialidades.

Gostaríamos de registrar nossos agradecimentos ao CT-Mineral, ao MME/SMM, ao CNPq, ao CONFEA, à CBPM, ao SEBRAE, à ABIROCHAS, à RETEQ-ROCHAS/CETEM e à Universidade Federal de Pernambuco, através do Departamento de Engenharia de Minas, e àquelas outras empresas governamentais e privadas que viabilizaram a realização deste evento.

Aproveitando também a oportunidade para agradecer o apoio da CPRM, do NUTEC e do SINDIPEDRA-PE à realização deste evento. Parabenizamos a Comissão Organizadora pelo sucesso alcançado, o editor Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM/MCT) pela eficiência na coordenação desta publicação, bem como todos os autores que contribuíram com seus trabalhos para brilhantismo deste III Simpósio.

Rio de Janeiro, novembro de 2002.

Gildo de A. Sá C. de Albuquerque
Diretor do CETEM/MCT
Presidente de Honra do Evento

SUMÁRIO

CURSO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS E URBANÍSTICOS

- I. **CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTOS: ESTUDO ATRAVÉS DE ANÁLISES DE ENSAIOS E DAS PATOLOGIAS ASSOCIADAS AO USO.** MARIA HELOÍSA BARROS DE OLIVEIRA FRASCÁ, Geóloga, MSc., IPT.
- II. **PROCESSOS DE ASSENTAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COM REVESTIMENTOS DE EDIFICAÇÕES.** ELEANA PATTA FLAIN, Prof^a, Eng^a Civil, MSc., Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie.
- III. **USO/ADEQUAÇÃO E APLICAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** ELENO DE PAULA RODRIGUES, Geólogo, PhD., SENAI-SP e IRANI CLEZAR MATTOS, Geóloga, MSc., SENAI-CE.
PARTE 1
PARTE 2
- IV. **TECNOLOGIA, PROJETO E ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA INSERTS METÁLICOS.** JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, BERLAMINO BARBOSA LIRA, Prof^o, Eng^o de Minas, DSc., Depto de Engenharia de Minas da UFPE.
- V. **CONTROLE DE QUALIDADE NO EMPREGO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** VANILDO ALMEIDA MENDES, Geólogo, Especialista em Rochas Ornamentais, CPRM-RE; FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, Eng de Minas, DSc., CETEM/MCT.
- VI. **SELEÇÃO DE ARGAMASSAS PARA ASSENTAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA PISOS E REVESTIMENTOS.** JOSÉ ROLIM FILHO, Prof^o, Eng^o de Minas, DSc., Depto de Engenharia de Minas da UFPE.
- VII. **CONTROLE DE QUALIDADE NO MERCADO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS: NORMALIZAÇÃO EUROPEIA.** FERNANDO LÓPEZ GONZÁLEZ-MESONES, Prof^o, Eng^o de Minas, DSc., Depto de Engenharia de Materiais da E.T.S.I. Minas (Escola Técnica Superior de Ingenieros de Minas) – Universidad Politécnica de Madrid – Espanha; Pertencente ao Comitê Técnico – TC246: Pedra Natural, da Comissão Européia de Normalização (CEN)

CONFERÊNCIAS PLENÁRIAS

ESCOLHA DE TIPOS TEXTURAIS DE ROCHAS E SUA APLICAÇÃO ORNAMENTAL.

EVENILDO BEZERRA DE MELO e FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA - UFPE

PEDREIRA ESCOLA: CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA PARA COMPETITIVIDADE.

Hélio C. A. de Azevedo – CBPM; Adriano Caranassios, Francisco W. H. Vidal, Gildo Sá C. de Albuquerque e Núria Fernández Castro - CETEM/MCT

SESSÕES TÉCNICAS

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA COMO FERRAMENTA PARA A PREVISÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE GRANITOS ORNAMENTAIS: UMA DISCUSSÃO. FABIANO CABAÑAS NAVARRO E ANTÔNIO CARLOS ARTUR - UNESP

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS COMO FERRAMENTA PARA A PREVISÃO DE PARÂMETROS MECÂNICOS EM GRANITOS ORNAMENTAIS. FABIANO CABAÑAS NAVARRO - UNESP

USO DO PUNDIT NA DETERMINAÇÃO DE ANOMALIAS ULTRA-SÔNICAS EM BLOCOS ROCHOSOS. JOAQUIM RAUL TORQUATO, MARIA DE FÁTIMA BESSA E HÉLIO FERNANDES MUNIZ - NUTEC

PERDA DE LUSTRO EM ROCHAS ORNAMENTAIS DURANTE ABRASÃO PROGRESSIVA: PRINCIPAIS FATORES CONDICIONANTES. ANTÔNIO CARLOS ARTUR, EBERHARD WERNICK E RENATO MEIRA ANDRIGHETTI - UNESP; ELENO DE PAULA RODRIGUES – SENAI/SP; PAULO HENRIQUE GULELMO DE SOUZA - UNESP

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E TECNOLÓGICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS, NO SUDOESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. TÂNIA MARIA GOMES FERNANDES - UFC; ANTÔNIO MISSON GODOY - UNESP; NEDSON HUMBERTO FERNANDES - UECE

PADRÃO TECNOLÓGICO DO “GRANITO PRETO PIRACAIA” – SP, COMO ROCHA ORNAMENTAL. ANTONIO MISSON GODOY, JULIO CÉSAR DE PINHEIRO ARRAYS, ANTONIO CARLOS ARTUR E TAMAR MILCA BORTOLOZZO GALEMBECK - UNESP

PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DE DOIS TIPOS FACIOLÓGICOS DO GRANITO SERRA DO BARRIGA – SOBRAL/CE: RESULTADOS PRELIMINARES. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO- UFC; IRANI CLEZAR MATTOS – SENAI/CE; WILHELM MALHEIROS SAUERBRONN - UFC; ANTÔNIO HÉLIO MUNIZ FERNANDES - NUTEC; ERLON RABELO CORDEIRO, RICARDO EMÍLIO FERREIRA QUEVEDO NOGUEIRA E ARISTON ARAÚJO CAJATY - UFC; ANTÔNIO CARLOS ARTUR – UNESP E JOSÉ MARCOS SASAKI - UFC

ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA. ANTÔNIO GILBERTO COSTA, MARCOS SANTOS CAMPELLO, STAEL LUSTOSA MACIEL, CRISTINA CALIXTO E JAVIER EDUARDO BECERRA – UFMG

AValiação TECNOLÓGICA DO EMPREGO DO MÁRMORE DE ZABELÉ-PB COMO MATERIAL ORNAMENTAL. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, JOSÉ LINS ROLIM FILHO E BELARMINO BARBOSA LIRA - UFPE

AValiação DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO NORDESTE ATRAVÉS DE SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS. FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL - CETEM/MCT

ROCHAS ORNAMENTAIS DA REGIÃO NORDESTE: PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS. FELISBELA MARIA DA C. OLIVEIRA, MÁRCIO LUIZ DE SIQUEIRA C. BARROS, JOSÉ LINS ROLIM FILHO, EVENILDO BEZERRA DE MELO, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, GABRIELLE SOUSA E SILVA E JUZILENE KALLINE MENEZES- UFPE

AValiação DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO PARA CARACTERIZAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS. JOSÉ LINS ROLIM FILHO, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, BELARMINO BARBOSA LIRA, MÁRCIO LUIZ DE S. CAMPOS BARROS E FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA - UFPE

DUREZA KNOOP EM ROCHAS PARA REVESTIMENTO: CORRELAÇÃO COM DESGASTE ABRASIVO. EDUARDO B. QUITETE - IPT; HENRIQUE KAHN - USP

ESTUDO DE ALTERAÇÕES EM ROCHAS ORNAMENTAIS – GRANULITOS DA REGIÃO DE CHOROZINHO (CE). ANNA PAULA LIMA COSTA, JOSÉ ARAÚJO NOGUEIRA NETO, ARISTON ARAÚJO CAJATY E CÉSAR ULISSES VIEIRA VERÍSSIMO - UFC; TICIANO JOSÉ SARAIVA DOS SANTOS - UNICAMP; MARIA ANGÉLICA BATISTA LIMA - NUTEC; MARY LUCIA DA SILVA NOGUEIRA E ALEXANDRE CARVALHO – UFC

OS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS E SUA RELAÇÃO COM OS EVENTOS TECTÔNICOS ATUANTES NO TERRITÓRIO BRASILEIRO. VANILDO ALMEIDA MENDES - CPRM/RE

CONDICIONAMENTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS DAS FOLHAS GARANHUNS E BELÉM DO SÃO FRANCISCO, ESCALA 1:250.000. VANILDO ALMEIDA MENDES E IVO PESSATO PAIVA – CPRM/RE; ADEJARDO FRANCISCO DA SILVA FILHO, JOSÉ CARLOS SÍCOLI SEOANI, EDILTON JOSÉ DOS SANTOS, IGNEZ DE P. GUIMARÃES, DANIELLE VALDEREZ SIQUEIRA E ELY BRASIL - UFPE

MONTAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA GESTÃO DE ÁREAS DE PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. LEANDRO ANDREI BESSER DE DEUS, HELOISA VASCONCELOS DE MEDINA E CARLOS CESAR PEITER – CETEM/MCT

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AS PEDREIRAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA COM ESTUDO DE CASO CAUCAIA/CHOROZINHO. CLAIRTON CIARLINI E JÁDER ONOFRE DE MORAES – UECE

INTEGRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE BASE DE DADOS DE PROSPECÇÃO DE GRANITOS E MIGMATITOS, EM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEO-REFERENCIADAS. JOSÉ CARLOS SÍCOLI SEOANE, LILIANA SAYURI OSAKO, ADEJARDO FRANCISCO DA SILVA FILHO E EDILTON SANTOS - UFPE; VANILDO ALMEIDA MENDES - UFPE

ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE - BRASIL. FRANCISCO W. HOLLANDA VIDAL - CETEM/MCT

UTILIZAÇÃO DA ARGAMASSA EXPANSIVA PARA O CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS. ALEJANDRO ALANIS – QUÍMICA EDILE DO BRASIL LTDA

AValiação ECONÔMICA NA LAVRA DE ROCHA ORNAMENTAL – GRANITO MARROM GUAÍBA / RS. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA – UFPE E LUIS CARLOS BOSI TUBINO - SENAI

DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE DESDOBRAMENTO DE BLOCOS EM SERRARIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA – UFPE

CONSUMOS DOS PRINCIPAIS INSUMOS NO DESDOBRAMENTO DE GRANITOS DO NORDESTE, DE DIFERENTES GRAU DE DUREZA. ANTÔNIO AUGUSTO PEREIRA DE SOUSA E RAMON RODRIGUES - FUJI

RECICLAGEM DO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. JARDEL P. GONÇALVES - UFRJ; WASHINGTON A. MOURA - UEFS

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS FINOS DAS SERRARIAS DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA/RJ. EDUARDO AUGUSTO DE CARVALHO; ANTÔNIO RODRIGUES DE CAMPOS E CARLOS CESAR PEITER – CETEM/MCT; JOSÉ CARLOS DA ROCHA – INT

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE ROCHA ORNAMENTAL. JOSÉ LINS ROLIM FILHO; MÁRCIO LUIS DE S. CAMPOS BARROS, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, ANA ISOÍLA C. FREITAS FONSECA, KILMA CRISTINA BARBOSA DA CUNHA, ANTONIO CARLOS S. DOS SANTOS E GUSTAVO ALEXANDRE SILVA - UFPE

SITUAÇÃO BRASILEIRA NO MERCADO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS: RETROSPECTIVA E PERSPECTIVAS. CID CHIODI FILHO - ABIROCHAS

MESAS REDONDAS

RETEQ-ROCHAS: Normalização e Formação de Redes

COORDENADOR: Carlos Cesar Peiter – CETEM/MCT

DEBATEDORES/PARCEIROS: ITEP, CETEMAG, CBPM, INT, IPT, NUTEC, SENAI, UFMG e UNESP

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA COMO FERRAMENTA PARA A PREVISÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE GRANITOS ORNAMENTAIS: UMA DISCUSSÃO

Fabiano Cabañas Navarro¹ e Antonio Carlos Artur²

¹ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Geociências IGCE/UNESP
Av. 24A, 1515, B. Bela Vista, 13506-900 - Rio Claro, SP

Fone: (19) 526-2824/ Fax: (19) 524-9644/ e-mail: navarrofc@bol.com.br

² Depto de Petrologia e Metalogenia - DPM/IGCE/UNESP

Av. 24A, 1515, B. Bela Vista, 13506-900 - Rio Claro, SP

Fone: (19) 526-2824/ Fax: (19) 524-9644/ e-mail: acartur@rc.unesp.br

RESUMO

O presente trabalho discute a aplicabilidade e importância da utilização de parâmetros petrográficos como ferramenta para a previsão do comportamento tecnológico de granitos ornamentais. Para isso utiliza-se de dados inéditos e de trabalhos anteriores dos autores, onde são apresentados informações petrográficas e tecnológicas de rochas ornamentais com diferentes composições, texturas e estruturas provenientes dos estados de São Paulo, Espírito Santo e Bahia, os quais foram correlacionados através de métodos estatísticos de análise multivariada. Com isso foram hierarquizadas as variáveis petrográficas mais relevantes para cada um dos ensaios tecnológicos considerados (porosidade aparente, desgaste abrasivo Amsler, resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura), e posteriormente discutido os significados estatístico e tecnológico dessas variáveis. As equações matemáticas definidas foram testadas através da aplicação de parâmetros petrográficos obtidos em rochas tecnologicamente não catalogadas. Os resultados obtidos confirmam a eficiência dos parâmetros petrográficos como um instrumento favorável na previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais *strictu sensu*, representando um método rápido e de baixo custo. Além disso, reconheceu-se a necessidade de aperfeiçoamento desses modelos através de estudos que considerem parâmetros petrográficos adicionais, tais como orientações cristalográficas e a orientação das diferentes famílias de fraturas.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de rochas ornamentais e de revestimento no cenário mundial, e sobretudo de granitos no Brasil ao longo dos últimos anos (ABIROCHAS, 2001), tem diversificado as situações de uso/adequação e, conseqüentemente, acarretado maior probabilidade de ocorrência de patologias por emprego inadequado da rocha. Situações dessa natureza conduzem ao prejuízo estético, econômico e cultural de uma obra arquitetônica ou civil, sendo recomendável estudos prévios de caracterização petrográfica e tecnológica desses materiais afim de fornecer subsídios para a correta aplicação da rocha, procedimentos esses que previnem a especificação inadequada dos materiais.

A atuação de um mercado consumidor cada vez mais exigente quanto aos padrões de qualidade e

critérios de manuseio e aplicação de rochas, tem motivado pesquisadores no mundo todo ao estudo das propriedades físicas, mecânicas e químicas desses materiais. Nesse sentido um dos caminhos para a qualificação das rochas tem sido a procura de índices de qualidade expressos por equações matemáticas (Tuğrul & Zarif, 1999; Navarro *et al.*, 1999; Navarro & Artur, 2001; Navarro, 2002) e métodos não destrutivos (Weiss *et al.*, 2000; Artur *et al.*, 2001) para o reconhecimento das propriedades das rochas, visando com isso a previsão do comportamento tecnológico e o planejamento e caracterização adequada do material a custos mais acessíveis.

Sob este foco a contribuição do presente trabalho com relação à aplicação de estudos petrográficos para a previsão do comportamento tecnológico de granitos ornamentais, se faz pela discussão de equações apresentadas e discutidas nos trabalhos de Navarro & Artur (2001) e também testadas por Navarro (2002). Essas equações, se baseiam em parâmetros petrográficos (composição mineral, texturas e estruturas) e se propõem à previsão de parâmetros físicos e mecânicos (porosidade, desgaste abrasivo, resistência à compressão e módulo de ruptura) em rochas granitoides utilizadas como material de revestimento.

Os dados apresentados por esses autores, permitem a discussão da eficácia da utilização de informações petrográficas para a previsão de parâmetros tecnológicos de rochas ornamentais correspondentes à granitos *strictu sensu* segundo a classificação de Streckeisen (1976).

PETROGRAFIA E PARÂMETROS TECNOLÓGICOS: PROBLEMÁTICA E MÉTODOS DE CORRELAÇÃO

A investigação da influência das características petrográficas nos parâmetros físicos e mecânicos das rochas é objeto de estudos técnicos e científicos a longa data, visto a importante contribuição que essas informações podem fornecer para a construção de obras e o aproveitamento da rocha como material de construção e revestimento (Mello Mendes *et al.* 1966; Mello Mendes, 1968; Rzhovsky & Novik, 1971; Yoshida, 1972; Whittaker *et al.*, 1992; entre outros).

A interação entre a composição, texturas e estruturas que as rochas podem apresentar, é o fator que define a resistência aos agentes químicos, físicos

e mecânicos de toda rocha, ou seja é o resultado da combinação das características petrofísicas do material (Rzhevsky & Novik, 1971).

Entretanto deve-se assinalar que a adequada caracterização de todas as variáveis petrográficas determinantes do comportamento tecnológico das rochas está ligada a dificuldades de quantificação de alguns desses parâmetros, tais como o grau de microfissuramento e o grau de alteração (Rzhevsky & Novik 1971; Yoshida, 1972). Tais dificuldades, obviamente influenciam a obtenção de modelos ou índices para a previsão da qualidade de rochas baseados em características petrográficas. Decorre desse fato a prática freqüente de se correlacionar pares de dados tecnológicos, tais como velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas e parâmetros mecânicos; porosidade e parâmetros mecânicos, entre tantas outras combinações (Mello Mendes, 1968; Whittaker *et al.*, 1992). Do ponto de vista técnico e econômico essa prática é bastante adequada, pois permite que se utilize um resultado de ensaio tecnológico de baixo custo e rápida obtenção para a previsão do resultado de outro ensaio mais caro e demorado, com parâmetros confiáveis.

Entretanto, diversos autores correlacionaram dados petrográficos e tecnológicos através de métodos estatísticos baseados na análise de regressão simples (Vutukuri *et al.*, 1974; Lama & Vutukuri, 1978; entre outros).

Para o setor de rochas ornamentais ao nível nacional, as primeiras contribuições sobre a importância dos estudos petrográficos foram feitas por Frazão & Farjallat (1995), Rodrigues *et al.* (1996) e Navarro (1998). Todos esses trabalhos discorrem qualitativamente acerca da importância dos estudos petrográficos e do nível de informação detalhada que é possível obter através dessa técnica, e com isso aprimorar a compreensão dos resultados tecnológicos e assegurar uma melhor aplicação da rocha.

Posteriormente alguns trabalhos procuraram estabelecer relações entre parâmetros petrográficos e tecnológicos de maneira que pudessem ser expressas em equações matemáticas, e portanto passíveis de serem utilizadas como instrumento de previsão. Tuğrul & Zarif (1999) estudaram amostras de granitos turcos e apresentaram diversas equações de regressão simples, correlacionando pares de parâmetros tecnológicos e pares de parâmetros tecnológicos e petrográficos. Através dos dados obtidos esses autores concluíram que a composição mineral, nomeadamente a variação de feldspato e quartzo, são os fatores que mais influenciam as propriedades mecânicas das rochas analisadas, havendo ainda certas complicações quando se compara o grau de engrenamento (tipos e relações de contatos) desses minerais, cabendo para essas situações estudos específicos.

Navarro *et al.* (1999) utilizaram dados de análises petrográficas obtidos em um conjunto de 66 amostras provenientes dos estados de São Paulo, Espírito Santo e Bahia, os quais foram correlacionados aplicando-se o coeficiente de Pearson com dados tecnológicos referentes a essas amostras. Como resultado propuseram três equações

para previsão do desgaste abrasivo Amsler e quatro equações para previsão do módulo de ruptura, todas fundamentadas nos parâmetros petrográficos apontados pelo tratamento estatístico como as variáveis mais importantes para a previsão de cada um dos ensaios considerados. Dessa maneira, o coeficiente de correlação de Pearson mostrou que as porcentagens de quartzo e biotita e o número médio de fraturas por unidade de área são os parâmetros mais importantes para a previsão do desgaste abrasivo. Analogamente para o ensaio de resistência à flexão, esses autores reconheceram que as porcentagens de biotita e feldspato potássico e as granulações de feldspato potássico e plagioclásio, são as feições que mais influenciam essa propriedade.

Na evolução desses trabalhos, Navarro & Artur (2001) também apresentam equações matemáticas baseadas em dados petrográficos para a previsão do comportamento tecnológico de alguns ensaios. Tais equações mostram-se mais refinadas e foram conseguidas pela aplicação de técnicas de análise estatística multivariada.

Conforme comentado por Navarro (2002), as variáveis petrográficas podem ser agrupadas genericamente em três categorias (composição mineral, texturas e estruturas), definindo um trinômio de complexa inter-relação, que responde pelo comportamento físico e mecânico da rocha (Figura 1). Do ponto de vista estatístico, compõe um universo multidimensional bastante complexo, uma vez que muitas rochas com feições composicionais, texturais e estruturais diferentes podem apresentar propriedades físicas e mecânicas semelhantes, ou ainda rochas com composição, texturas e estruturas semelhantes podem apresentar comportamentos tecnológicos distintos.

Dessa maneira é correto admitir que cada variável petrográfica seja responsável por parte da variabilidade presente em um dado tecnológico, e que a somatória dessas variáveis definem o comportamento físico e mecânico da rocha (Navarro, 2002).

Pelo exposto acima, conclui-se que o comportamento tecnológico de uma rocha, seja ele físico, químico ou mecânico, é o resultado da interação de diversos fatores e, portanto, sob o ponto de vista estatístico pode ser entendido nas concepções de Davis (1981) como um sistema multivariado. Isso quer dizer que algumas variáveis desse sistema, assumidas como dependentes e representadas pelos parâmetros tecnológicos, podem ser explicadas por um conjunto de variáveis petrográficas, ditas independentes.

Por permitir a correlação de diversos dados simultaneamente, hierarquizando as variáveis segundo o grau de variabilidade presente em cada uma (Davis, 1986), entende-se que a aplicação das diversas técnicas de análise multivariada seja o método estatístico mais indicado para o tratamento desses dados, conforme será discutido a seguir.

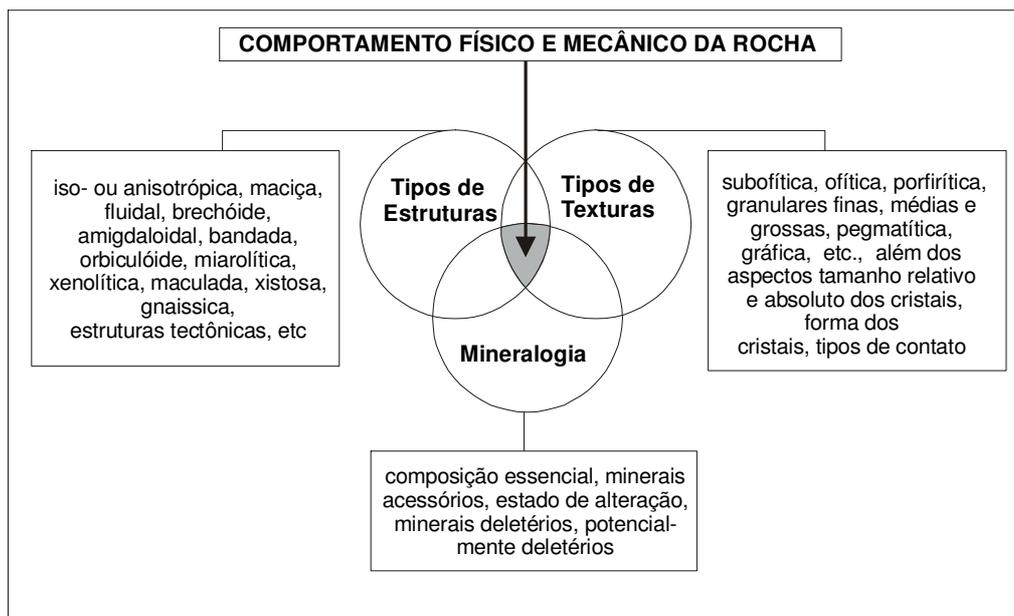


FIGURA 1: Esquema ilustrando o comportamento físico e mecânico de uma rocha, como resultado da interação entre os de aspectos petrográficos definidos pela mineralogia, texturas e estruturas (modificado de Navarro, 2002)

AValiação da Caracterização Petrográfica como Ferramenta para Previsão do Comportamento Tecnológico de Granitos Ornamentais

Com base nas informações contidas nos trabalhos de Navarro & Artur (2001) e Navarro (2002), é possível discorrer com certo detalhe sobre a validade da caracterização petrográfica como ferramenta para previsão do comportamento tecnológico de granitos ornamentais.

Para tanto, serão reproduzidos aqui parte dos dados apresentados por esses autores. Navarro & Artur (2001) submeteram à análise petrográfica 66 amostras de rochas comercialmente designadas como granitos, e provenientes dos estados de São Paulo, Espírito Santo e Bahia. As rochas utilizadas correspondem petrograficamente a sienogranitos, monzogranitos, sieno- e monzogranitos porfiros, charnoquitos, ortognaisses, gabros/dioritos e sienitos.

Os parâmetros petrográficos avaliados foram a porcentagem mineral, granulação média dos minerais essenciais, número médio de fraturas com e sem preenchimento por unidade de área, comprimento médio das fraturas com e sem preenchimento, porcentagem de área alterada e número médio de contatos minerais subdivididos nas categorias plano, côncavo-convexo e serrilhado. Os dados de caracterização tecnológica considerados foram a porosidade, o desgaste abrasivo Amsler, módulo de ruptura, resistência à compressão uniaxial e coeficiente de dilatação térmica linear, todos obtidos de catálogos publicados por IPT (1990), IPT (1993) e SGM (1994).

Esse extenso banco de dados foi tratado estatisticamente em duas etapas. Na primeira foi aplicado um método de análise multivariada conhecido como análise discriminante, visando o

reconhecimento de agrupamentos litológicos com afinidades petrográficas e tecnológicas. Através dessa técnica os autores reconheceram dois conjuntos de amostras, sendo um representado por todas as amostras consideradas e outro excluindo-se as amostras classificadas como gabros/dioritos e sienitos.

Nas amostras desses dois agrupamentos os autores aplicaram a análise de regressão múltipla visando com isso a obtenção de equações matemáticas para previsão dos cinco ensaios tecnológicos por eles considerados. Adicionalmente, apresentaram a porcentagem de variabilidade explicada pelas variáveis petrográficas consideradas, para cada um dos ensaios assumidos, ou seja, o quanto as variáveis petrográficas explicam os parâmetros tecnológicos utilizados.

Em continuidade a esse trabalho, Navarro (2002, páginas 46 a 48) aplica o teste estatístico F, e sugere a exclusão das variáveis comprimento de fraturas e comprimento de fraturas com preenchimento das equações propostas. Essa informação é importante e será considerada adiante para a sugestão da adequação do método de obtenção dos dados referentes ao microfissuramento.

Navarro (2002) apresenta cinco conjuntos de equações, e conclui que os conjuntos de equações 1 e 2 são mais indicados para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos *strictu sensu* (campos 3A e 3B no diagrama de Streckeisen, 1976).

O conjunto de equações 1 foi obtido utilizando-se todas as amostras estudadas e o conjunto de equações 2 utilizando-se apenas as amostras de composição granítica.

Na Tabela 1 é apresentada a porcentagem de variabilidade explicada para cada ensaio

tecnológico considerado por esse autor, o que permite algumas considerações. Para o ensaio de **porosidade**, pode-se concluir que as porcentagens de quartzo (Qz) e biotita (Bt), no conjunto de equações 1, e a granulação média de feldspato potássico (grFK) e a porcentagem de plagioclásio (PL), no conjunto de equações 2, são os fatores que explicam melhor a variabilidade dos resultados de porosidade. Isso não significa dizer que as demais variáveis não são significativas, mas sim que influenciam em menores proporções os resultados desse parâmetro para o universo de amostras estudado.

Além disso, o tratamento apresentado não considera as relações e porcentagem de correlação entre dois parâmetros petrográficos. Como exemplo cita-se a influência que a porcentagem de quartzo pode apresentar sobre a maior ou menor ocorrência de contatos côncavo-convexos e serrilhados, como por exemplo ocorre em rochas com quartzo intersticial. Ou ainda admitir que a granulação e porcentagem dos feldspatos podem significar maior grau de alteração, conseqüentemente influenciando a porosidade.

Considerando os valores correspondentes para o **desgaste abrasivo Amsler** apresentado na Tabela 1, observamos que para o conjunto de equações 1 as variáveis número médio de fraturas preenchidas (ftp) e porcentagem de feldspato potássico (FK) são as mais significativas. Observa-se ainda para este caso que as variáveis alteração (Alt), porcentagem de quartzo (Qz), feições estas importantes para o desgaste, estão entre as últimas a serem excluídas do modelo. Para o conjunto de equações 2 as variáveis mais significativas são a porcentagem de feldspato potássico (FK) e o grau de alteração (Alt), cabendo destaque para as variáveis representadas pelas três categorias de contatos adotadas.

Os valores referentes ao ensaio de **resistência à compressão uniaxial** obtidos para o conjunto de equações 1 mostram maior influência das variáveis número de fraturas (ft), número médio de fraturas com preenchimento (ftp) e granulação de quartzo (grQz), com certa contribuição dos tipos de contato, sobretudo do tipo serrilhado (cse) e porcentagem de biotita (Bt). Para o conjunto de equações 2, as variáveis reconhecidas como mais influentes para esse ensaio foram os contatos planos (cpl) e a granulação de quartzo (grQz). A alteração (Alt) e o número médio de fraturas (ft) também mostram contribuições significativas.

No que se refere ao ensaio de **módulo de ruptura**, nota-se que as variáveis mais importantes para definir este parâmetro no conjunto de equações 1 são as porcentagens de biotita (Bt) e (FK), e também a granulação média do plagioclásio (grPL). Para o conjunto de equações 2, as variáveis petrográficas reconhecidas como mais significativas foram a granulação de feldspato potássico (grFK), os contatos côncavo-convexos (ccc), a porcentagem de área alterada (Alt) e o número médio de fraturas preenchidas (ftp). Deve-se deixar claro que o fato de considerar alguns parâmetros como mais relevantes para a explicação e/ou previsão de um resultado

tecnológico não desqualifica os demais parâmetros, visto que uma propriedade tecnológica nada mais é que o resultado da inter-relação de todos os parâmetros analisados.

Comentários adicionais devem ser feitos com relação a certas variáveis como a porcentagem de área alterada e os tipos de contatos minerais considerados. É de senso comum que tais parâmetros são determinantes para a obtenção de uma dado tecnológico, especialmente as propriedades mecânicas. Entretanto essas variáveis não se destacaram muito em relação às demais no tratamento aplicado. Segundo comentários de Navarro (2002), pode-se atribuir essas peculiaridades ao banco de dados utilizado, onde observa-se que todas amostras consideradas nesses tratamentos apresentam valores de resistência à compressão uniaxial entre 93,2 e 255,6 MPa, os quais permitem classificá-las quanto ao grau de coerência, conforme critérios propostos pela ISRM (1978) como “muito resistentes” (classe R5) a “extremamente resistentes” (classe R6). Esse fato pode, portanto, mascarar as verdadeiras influências desses parâmetros petrográficos sobre os resultados tecnológicos.

Em seguida, Navarro (2002) apresenta dois conjuntos de equações para os ensaios considerados na Tabela 1, e aqui reproduzidos na Tabela 2.

De posse dessas equações esse autor seleciona cinco rochas com diferentes composições, texturas e estruturas, representadas na Tabela 3. Aplicando as equações aos dados petrográficos obtidos para essas amostras, obteve dois conjuntos de resultados calculados, os quais foram comparados com os dados obtidos em laboratório (Tabela 4).

Os valores apresentados nessa tabela mostram que em alguns casos os valores calculados se aproximam bastante dos valores obtidos em laboratório, o que dá credibilidade ao método utilizado. Entretanto, algumas situações merecem ser consideradas.

Para a porosidade observa-se que alguns resultados calculados situam-se relativamente distantes dos valores obtidos em laboratório. Em termos teóricos, a porosidade deve ser mais intensamente influenciada pelo grau de alteração e pela presença de fraturas e, secundariamente, pelos tipos de contato e granulação média (Lama & Vutukuri, 1978). Ressalta-se que o método de avaliação da porcentagem de área alterada utilizado por Navarro (2002) é a medição através do uso de analisador de imagens, uma técnica que diminui a subjetividade das avaliações, mas não contempla a intensidade da alteração, fato que pode induzir distorções nos modelos propostos. No que se refere às fraturas, há uma questão crucial a ser considerada que é a comunicabilidade entre os planos de fratura, uma feição sem metodologia para quantificação em termos petrográficos, embora existam os ensaios de capilaridade e permeabilidade, que podem ser utilizados como parâmetros de referência para essas feições.

TABELA 1: Dados obtidos por Navarro (2002) aplicando análise de regressão múltipla para os agrupamentos litológicos assumidos, apresentando valores totais e parciais (para cada variável) correspondentes à porcentagem da variabilidade dos ensaios tecnológicos explicada pelos parâmetros petrográficos considerados em cada agrupamento. Resultados obtidos com o programa Statistica versão 5.5, utilizando-se o algoritmo *backward stepwise*. Os valores sublinhados destacam as duas variáveis petrográficas de maior peso para cada caso. Os valores subscritos mostram a ordem crescente de retirada da variável do modelo. Legenda: CE = conjunto de equações 1 e 2; **FK** - % de feldspato potássico; **grFK** - granulção média de feldspato potássico (mm); **PL** - % de plagioclásio; **grPL** - granulção média do plagioclásio (mm); **Qz** - % de quartzo; **grQz** - granulção média de quartzo (mm); **Bt** - % de biotita; **Alt** - % de área alterada; **ft** - número médio de fraturas sem preenchimento/mm²; **ftp** - número médio de fraturas preenchidas/mm²; **cpl** - número de contatos planos/mm²; **ccc** - número de contatos côncavo-convexos/mm²; **cse** - número de contatos serrilhados/mm².

CE	Variáveis Dependentes	(R ²) % DA VARIABILIDADE EXPLICADA PELAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES ANALISADAS													
		TOTAL	FK	grFK	PL	grPL	Qz	grQz	Bt	Alt	ft	ftp	cpl	ccc	cse
CE 1 Todas Amostras	Porosidade	38,0	4,390 ₁₁	2,850 ₉	2,575 ₁₂	1,582 ₇	<u>16,501</u> ₁₃	0,203 ₃	<u>6,270</u> ₁₀	0,261 ₅	0,024 ₂	1,001 ₆	0,000 ₁	0,225 ₄	2,088 ₈
	Desgaste	60,4	<u>35,568</u> ₁₃	0,093 ₄	0,331 ₅	1,078 ₈	4,797 ₁₁	0,035 ₁	0,087 ₃	1,622 ₁₀	1,774 ₉	<u>13,705</u> ₁₂	0,105 ₂	0,737 ₇	0,487 ₁
	Compressão	30,6	0,144 ₃	0,025 ₂	0,37 ₆	0,002 ₁	0,129 ₄	<u>6,667</u> ₁₃	1,759 ₉	0,327 ₅	4,822 ₁₁	<u>9,976</u> ₁₂	0,995 ₇	1,817 ₈	3,610 ₁₀
	Módulo Ruptura	43,7	<u>17,643</u> ₁₂	0,425 ₄	1,311 ₇	<u>15,006</u> ₁₃	1,934 ₈	0,573 ₅	3,501 ₁₁	1,077 ₆	0,309 ₃	0,248 ₂	0,943 ₉	0,659 ₁₀	0,110 ₁
CE 2 Amostras Graníticas	Porosidade	26,8	1,861 ₉	<u>3,760</u> ₁₂	<u>10,153</u> ₁₃	1,743 ₈	1,536 ₇	0,442 ₆	1,421 ₁₀	0,456 ₄	0,156 ₃	0,392 ₅	0,100 ₂	0,009 ₁	4,782 ₁₁
	Desgaste	35,9	<u>12,984</u> ₁₂	0,334 ₂	0,369 ₅	0,597 ₈	0,022 ₁	0,746 ₆	0,640 ₄	<u>14,683</u> ₁₃	0,646 ₇	0,351 ₃	0,251 ₁₀	1,488 ₉	2,753 ₁₁
	Compressão	26,3	1,105 ₈	1,521 ₆	0,000 ₁	2,773 ₉	0,574 ₄	<u>6,092</u> ₁₃	1,821 ₇	4,673 ₁₂	1,360 ₁₀	0,583 ₅	<u>5,577</u> ₁₁	0,208 ₃	0,003 ₂
	Módulo Ruptura	44,8	1,352 ₇	5,693 ₁₀	0,118 ₄	1,266 ₅	0,009 ₁	0,021 ₂	5,400 ₉	5,981 ₁₂	2,224 ₈	<u>14,121</u> ₁₃	1,450 ₆	<u>7,151</u> ₁₁	0,047 ₃

TABELA 2: Modelos matemáticos propostos para a previsão dos resultados dos ensaios tecnológicos relativos à porosidade aparente, desgaste abrasivo, resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura propostos por Navarro (2002). Modelos obtidos com base nos dados petrográficos de todas amostras (conjunto 1) e das amostras de composição granítica (conjunto 2). Legenda para as variáveis petrográficas, vide legenda da Tabela 1

ensaios	EQUAÇÕES PROPOSTAS	
	conjunto de equações 1	conjunto de equações 2
porosidade	= - 0,432 + 0,0108 FK + 0,0217 grFK + 0,0129 PL - 0,0276 grPL + 0,0116 Qz + 0,0082 grQz + 0,0149 Bt - 0,00183 Alt - 0,0031 ft - 0,0251 ftp + 0,000 cpl - 0,0180 ccc - 0,058 cse	= - 0,396 + 0,00899 FK + 0,0229 grFK + 0,0177 PL - 0,0320 grPL + 0,00817 Qz + 0,0159 grQz + 0,0147 Bt - 0,00183 Alt - 0,0097 ft - 0,0203 ftp + 0,011 cpl + 0,008 ccc - 0,205 cse
desgaste abrasivo	= 1,20 - 0,00782 FK + 0,00412 grFK + 0,00182 PL - 0,0144 grPL - 0,00459 Qz - 0,0030 grQz - 0,00192 Bt - 0,00444 Alt - 0,0127 ft + 0,0486 ftp + 0,0268 cpl - 0,0545 ccc + 0,0460 cse	= 1,04 - 0,00748 FK + 0,00433 grFK + 0,00242 PL - 0,0220 grPL + 0,00077 Qz + 0,0102 grQz + 0,00316 Bt - 0,00734 Alt - 0,0084 ft - 0,0136 ftp + 0,0798 cpl - 0,0509 ccc - 0,131 cse
compressão uniaxial	= 175 - 0,188 FK - 0,16 grFK - 0,350 PL - 0,10 grPL - 0,210 Qz - 3,21 grQz + 0,481 Bt + 0,213 Alt + 4,10 ft - 7,99 ftp + 9,7 cpl - 11,3 ccc + 9,1 cse	= 123 + 0,511 FK - 1,23 grFK + 0,007 PL + 4,04 grPL - 0,367 Qz - 6,26 grQz + 0,902 Bt + 0,852 Alt + 2,73 ft - 2,58 ftp + 12,4 cpl - 3,31 ccc + 0,6 cse
módulo de ruptura	= 28,2 - 0,158 FK - 0,126 grFK - 0,0725 PL - 0,581 grPL - 0,0952 Qz + 0,204 grQz + 0,0888 Bt + 0,0425 Alt - 0,109 ft + 0,126 ftp - 1,75 cpl + 1,56 ccc + 0,42 cse	= 19,0 - 0,0788 FK - 0,234 grFK - 0,0241 PL - 0,232 grPL - 0,008 Qz + 0,025 grQz + 0,113 Bt + 0,116 Alt - 0,324 ft + 1,28 ftp - 1,42 cpl + 1,98 ccc + 0,25 cse

TABELA 3: Nome comercial, tipo petrográfico e procedência dos materiais selecionados por Navarro (2002) para o teste das equações matemáticas apresentadas na Tabela 2.

Nome Comercial	Tipo Petrográfico	Procedência
Lilas Gerais	gnaisse sienogranítico róseo	Itapecirica, MG
Verde Lavras	gnaisse charnoquítico cinza-esverdeado	Lavras, MG
Marrom Caldas	álcali-feldspato quartzo sienito	Caldas, MG
Preto Piracema	gabro com quartzo	Piracema, MG
Ibiúna Amêndoa Vermelha*	biotita-hornblenda monzogranito porfiróide com matriz granodiorítica	Ibiúna, SP

* nome comercial sugerido por Navarro (2002).

Tabela 4: Comparação entre os resultados tecnológicos calculados pela aplicação das equações selecionadas e os dados obtidos em laboratório para os cinco litotipos selecionados LG (Lilas Gerais), VL (Verde Lavras), MC (Marrom Caldas), PP (Preto Piracema) e IBV (Ibiúna Amêndoa Vermelha). *Legenda:* por - porosidade aparente (%); abs - absorção d'água aparente (%); desg - desgaste abrasivo Amsler (mm); unix - resistência à compressão uniaxial (MPa); rupt - módulo de ruptura (MPa).

amostras	RESULTADOS CALCULADOS											
	resultados de ensaios				conjunto de equações 1				conjunto de equações 2			
	por	desg	unix	rupt	por	desg	unix	rupt	por	desg	unix	rupt
Lilas Gerais	0,27	0,50	177,8	19,0	0,74	0,66	158,9	17,6	0,72	0,73	148,1	16,7
Verde Lavras	0,35	0,51	232,6	22,6	0,57	0,44	120,1	17,4	0,62	0,44	164,6	22,4
Marrom Caldas	1,08	0,74	172,3	12,8	0,28	0,54	179,2	17,8	0,17	0,33	186,0	16,2
Preto Piracema	0,18	0,62	223,7	23,2	0,05	1,17	156,9	24,3	0,29	0,73	172,4	24,9
Ibiúna Amêndoa Vermelha	0,67	0,60	149,6	13,5	1,02	0,86	158,5	12,0	0,88	0,57	140,5	10,5

Comparando os resultados de desgaste Amsler calculados com os obtidos através de ensaios, observa-se bastante coerência com os mesmos, tanto aplicando-se as equações do conjunto 1, quanto do conjunto 2, com exceção para as amostras Marrom Caldas (MC) e Preto Piracema (PP). Isso fornece um indicativo da melhor utilização dos modelos desenvolvidos em rochas granitóides (campos 3A e 3B de Streckeisen, 1976) do que aquelas de composição tendendo a ácida (sienitos em geral) ou básica (gabros, dioritos, tonalitos, etc.). Nesses casos modelos matemáticos específicos devem ser especialmente desenvolvidos.

Os valores calculados e obtidos por ensaio para as propriedades mecânicas, representados pelos ensaios de resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura, mostram resultados bastante próximos, havendo algumas exceções para as amostras Lilas Gerais (LG), Verde Lavras (VL) e Preto Piracema (PP). Segundo Lama & Vutukuri (1978), é coerente admitir que a resistência mecânica das rochas são um reflexo dos aspectos macroscópicos representados pela granulação e tipos de contatos. Essas variáveis têm um significado maior nas equações do conjunto 1 (Tabela 1), que mostram resultados mais próximos dos valores obtidos por ensaio, do que os dados calculados com as equações do conjunto 2, onde essas variáveis tem participação menor (Tabela 1).

Além desses parâmetros sabe-se que as fraturas tem papel determinante para a resistência mecânica, fato não muito evidente nos valores da Tabela 1, onde essas variáveis apresentam baixos valores da porcentagem de variabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os comentários acima mostram que a petrografia pode ser utilizada como um método para a previsão de resultados de ensaios tecnológicos de granitos ornamentais. Constitui ainda um método expedito, de baixo custo e não destrutivo, que fornece informações únicas a respeito das características das rochas.

Contudo, é necessário destacar que o atual estágio do conhecimento nesse assunto, pelo menos ao nível nacional, ainda é incipiente, sendo de extrema importância estudos complementares visando a qualificação e quantificação de determinados parâmetros petrográficos através de metodologias específicas. Como exemplo, salienta-se a importância de estudos com platina universal, para o reconhecimento e quantificação de orientações cristalográficas, que embora não visíveis a olho nu, constituem-se planos de anisotropia, e portanto zonas de menor resistência que influenciam o comportamento tecnológico das rochas (Siegesmund *et al.*, 2000; Weiss *et al.*, 2000).

As fraturas devem ser consideradas como número médio por unidade de área e também como famílias ou sistemas presentes, os quais dependendo do arranjo geométrico que apresentem, respondem com comportamentos mecânicos diferentes (Gueguen *et al.*, 1990). Para isso métodos como a velocidade de propagação de ondas e análise das orientações relativas dos planos de fraturas presentes, através de platina universal podem contribuir de modo decisivo (Weiss *et al.*, 2001).

Outros parâmetros tais como contatos minerais e planos de clivagem representam planos de baixa energia que podem alterar o desenvolvimento dos planos de fratura através de mecanismo de deflexão de fraturas, durante a aplicação da carga (Freiman & Swanson, 1990), o que evidentemente afeta a resistência mecânica da rocha. Neste caso o estudo das orientações através da platina universal também podem contribuir para o aprimoramento dos modelos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (processo nº 00/00762-8) pelo financiamento do projeto de mestrado do primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais 2001. Rochas Ornamentais no Século XXI – Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Coordenador: Peiter *et al.* Rio de Janeiro/ABIROCHAS, 2001. 160p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992a. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2 p. (norma ABNT-NBR 12767).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992b. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à flexão. 3 p. (norma ABNT-NBR 12763).
- Artur, A.C.; Meyer, A.P.; Wernick, E. 2001. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p:13-19.
- ASTM - American Society for Testing and Materials 1990. Standard Test Method for Laboratory: Determination of Pulse Ultrasonic Elastic Constants of Rocks. 5p. (standard D-2845).
- Davis, J.C. 1986. Statistics and data analysis in geology. 2th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 646p.
- Freiman, S.W.; & Swanson, P.L. 1990. Fracture of polycrystalline ceramics. Chapter 3 in: Deformation processes in mineral, ceramics and rocks. Editors: D.J. Barder & P.G. Meredith. p: 72-83.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1995. Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas. *Rev. Rochas de Qualidade*. nº 124:8p. São Paulo.
- Gueguen, Y.; Thierry, R. & Darot, M. 1990. Single-crack behaviour and crack statistics. Chapter 2 in: Deformation processes in mineral, ceramics and rocks. Editors: D.J. Barder & P.G. Meredith. p: 48-71.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo. 1990. Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. Coordenado por L.G. Caruso. São Paulo: SCTDE/PROMINÉRIO. 122p. il. (Publicação 1820).
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo. 1993. Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Coordenado por E.B. Frazão. - São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico. 79p. il. (Publicação IPT 2048).
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. 1978. Suggested methods for the quantitative description of rock masses. International Journal of Rock Mechanics and mining Sciences and Geomechanics Abstracts. Vol. 15, nº6, pp: 319-368.
- Lama, R.D. & Vutukuri, V.S. 1978. Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results. Clausthal, Germany. Vol 2. 481p.
- Landim, P.M.B. 1997. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998 (Ciência e Tecnologia).
- Landim, P. M. B. 2000. Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados. Texto Didático 03. Laboratório de Geomatematica. DGA/IGCE/UNESP-Rio Claro, SP.
- Mello Mendes, F de 1968. Mecânica das Rochas. Ed. Seção de Folhas da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. p 541.
- Mello Mendes, F de; Aires-Barros, L.; Peres Rodrigues, F. (1966) The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. Proc. First Congress of International Societing of rock Mechanics. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Vol. 1, pp 217-223.
- Navarro, F.C. 1998. Granitos Ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: Atas II Congr. Uruguai de Geologia. Punta del Este, Uruguai. p. 103-107.
- Navarro, F.C.; Artur, A.C. e Rodrigues, E. de P. 1999. Modelos matemáticos na previsão do desgaste abrasivo e da resistência à flexão em "granitos" ornamentais, a partir de parâmetros petrográficos. In: VI Simp. de Geologia do Sudeste, São Pedro, SP. p.142.

- Navarro, F.C. e Artur, A.C. 2001. Correlação entre características petrográficas e propriedades tecnológicas de granitos ornamentais: proposição de equações matemáticas. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p:45-52.
- Navarro, F.C. 2002. Caracterização Petrográfica como técnica para a previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais. Dissertação de Mestrado IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. 88p.
- Rodrigues, E. de P.; Coutinho, J.M.V. E Chiodi Filho, C. 1996. Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. *Rev. Rochas de Qualidade*. São Paulo. nº 127:80-84.
- Rzhevsky, V. e Novik, G. 1971. *The Physics of Rocks*. Moscow, MIR Publishers, 320p.
- Siegesmund, S.; Ullemeyer, K.; Weiss, T. & Tschegg, E.K. 2000. Physical weathering of marbles caused by anisotropic thermal expansion. *Int. J. Earth Science* 2000. 89:170-182.
- SGM - Superintendência de Geologia e Recursos Minerais 1994. *Catálogo das Rochas Ornamentais da Bahia*. Coordenado por H.C.A. de Azevedo e P.H. de O Costa. Salvador. 148p. il.
- Streckeisen, A. 1976. To each rock its proper name. *Earth. Sci. Rev.*, 12:1-33.
- Tuğrul A. & Zarif, I.H. 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology* 51:303-307.
- Vutikuri, V.S.; Lama, R.D. & Saluja, S.S. 1974. *Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results*. Clausthal, Germany. Vol 1. 280p.
- Weiss, T.; Siegesmund, S.; Rasolofosaon, P.N.J. 2000. The relationship between deterioration, fabric, velocity and porosity constraint. 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Venice, 2000. p:215-223.
- Weiss, T.; Patrick, N.J.; Rasolofosaon, P.N.J. & Siegesmund, S. 2001. Thermal microcracking in Carrara marble. *Z. dt. Geol. Ges.* 152 (2-4) p: 621-636; Stuttgart.
- Whittaker B.N.; Singh, R.N. e Sun, G. 1992. *Rock Fracture Mechanics – Principles, Design and Applications*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 570p.
- Yoshida, R. 1972. Contribuição ao conhecimento de características tecnológicas de materiais rochosos. São Paulo. 2v. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP).

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS COMO FERRAMENTA PARA A PREVISÃO DE PARÂMETROS MECÂNICOS EM GRANITOS ORNAMENTAIS

Fabiano Cabañas Navarro

Geólogo Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Geociências IGCE/UNESP Rio Claro, SP
Av. 24A, 1515, B. Bela Vista, Rio Claro, SP
Fone: (19) 526-2824/ Fax: (19) 524-9644/ e-mail: navarrofc@bol.com.br

RESUMO

O trabalho apresenta e discute dados de caracterização tecnológica referentes a ensaios de resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura e determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (P), obtidos para cinco tipos de granitos ornamentais com diferentes composições minerais, texturas e estruturas. As variedades estudadas correspondem ao Preto Piracema, Verde Lavras, Lilas Gerais, Marrom Caldas e Ibiúna Amêndoa Vermelha.

Desses materiais, foram obtidos 82 corpos-de-prova (45 utilizados para os ensaios de compressão e 37 para a determinação do módulo de ruptura), os quais foram submetidos a medidas de ultra-som em estado seco. As tensões máximas de ruptura obtidas nos dois tipos de ensaios mecânicos foram correlacionadas com os valores de velocidade de propagação de ondas, e dispostos em gráficos de dispersão de pontos.

O tratamento estatístico através da análise da linha de tendência mostrou que a velocidade de propagação de ondas apresenta coeficientes de correlação de 83% em relação ao módulo de ruptura, e de 54% em relação à resistência à compressão. A partir desses dados foram obtidas duas equações, uma considerando o módulo de ruptura e a propagação de ondas ($MR = 0,0075V_p - 21,832$), e outra entre a compressão uniaxial e a propagação de ondas ($Unix = 0,043V_p - 40,901$).

Utilizando tais equações é possível estimar os parâmetros mecânicos considerados, com base na velocidade de ultra-som sem, no entanto, descartar a execução dos ensaios propriamente ditos. Dessa forma, o presente trabalho ressalta a importância da utilização de métodos expeditos e não destrutivos visando a caracterização das propriedades mecânicas de granitos ornamentais e de revestimento.

INTRODUÇÃO

A utilização de métodos ultra-sônicos no campo da engenharia de materiais é algo crescente, sendo qualificado como um ensaio não-destrutivo dos mais importantes em diversas aplicações tecnológicas. Seu grande uso é a detecção e avaliação de descontinuidades superficiais e medidas de espessuras, e menos freqüentemente, para determinar propriedades físicas, estrutura, tamanho de grão e constantes elásticas dos materiais (Santini, 1996).

Na área de mecânica de rochas, a utilização de medidas de propagação de ondas é empregada principalmente para a investigação da presença de tensões e de estabilidade de maciços rochosos (Rzhevsky & Novik, 1971). Alguns parâmetros mecânicos podem ser determinados com grande precisão, tais como o módulo de Young, módulo de rigidez e o coeficiente de Poisson (Lama & Vutukuri, 1978). Segundo esses autores, a previsão desses parâmetros pode ser conseguida com no máximo 6% de erro, quando comparados os valores calculados e os valores obtidos experimentalmente em rochas isotrópicas. Em materiais anisotrópicos a porcentagem de erro pode alcançar 24%, ou mais de acordo com a intensidade das orientações presentes.

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas pode ser aplicada como instrumento para a determinação do grau de fissuramento e porosidade em rochas (Mouza *et al.*, 1983 *in* Figueiredo *et al.*, 2001). Trabalhos nessa linha de investigação são apresentados por Rzhevsky & Novik (1971), que apresentam equações para a previsão da porosidade em dolomitos com base na propagação de ondas. Como outro exemplo desse tipo de aplicação, cita-se Köhler (1991) que propõe equações para a previsão desse parâmetro em mármore utilizados como estatuária.

O principal empecilho para a aplicação desse método em materiais heterogêneos como as rochas é a presença de contatos entre materiais com diferentes velocidades de propagação de ondas, causando reflexões dos raios e assim produzindo distúrbios de propagação (Lama & Vutukuri, 1978).

As vantagens e potenciais de utilização dessa técnica, são ainda pouco empregadas para o estudo de rochas ornamentais, embora seja crescente o número de casos na literatura que mostrem casos favoráveis da aplicação dessa técnica.

Diversos trabalhos tem investigado a influência de anisotropias texturais e estruturais para o comportamento tecnológico das rochas. Um fator comum desses trabalhos é o emprego de métodos de ultra-som para avaliação da intensidade de orientação das rochas, servindo assim como elemento de comparação para a interpretação de dados mecânicos.

Alguns exemplos desse enfoque são apresentados por Ruedrich *et al.* (2001a), que investigaram o estado de alteração de colunas de mármore utilizando técnicas de tomografia de ultra-som, constatando a eficiência do método para o detalhamento da estrutura e composição da rocha, e com isso a obtenção de bases para a conservação de monumentos.

Ruedrich *et al.* (2001b), correlacionaram propriedades como tensão de ruptura, dilatação térmica e anisotropias da velocidade de propagação de ondas associada ao estudo das texturas e estruturas em mármore, provenientes do Palácio de Potsdam (Alemanha). Como conclusão reconheceram a associação dessas técnicas para a previsão do comportamento tecnológico de rochas, e portanto passível de utilização em projetos de reconstrução e conservação de obras.

Weiss *et al.* (2000) e Weiss *et al.* (2001) demonstraram a utilização da velocidade de ondas ultrassônicas e dados de porosidade como um binômio adequado para o estudo e detecção dos efeitos e processos de alteração em mármore calcíticos e/ou dolomíticos com variações texturais e estruturais diversas.

Nesse sentido, a proposta do presente trabalho é apresentar algumas vantagens para a utilização de métodos indiretos como ferramenta para a previsão de parâmetros mecânicos em granitos ornamentais selecionados. Ainda que preliminares, os resultados alcançados mostram que a aplicação de ensaios para determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas são bastante promissoras e eficientes para a previsão dos parâmetros considerados.

MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionados cinco tipos de rochas de revestimento classificadas comercialmente como granitos apresentando diferentes características composicionais, texturais e estruturais (Tabela 1). Desse conjunto de amostras, apenas um tipo não é comercializado, os demais são produzidos com regularidade ou estão temporariamente paralisados.

Os quatro materiais comercializados são provenientes dos centros produtores Candeias (tipos Preto Piracema, Verde Lavras e Lilas Gerais) e Caldas (tipo Marrom Caldas), ambos na região sul de Minas Gerais. A amostra não comercializada é proveniente do Maciço Granítico Ibiúna, sul de São Paulo.

TABELA 1: Nome comercial, tipo petrográfico e procedência dos materiais selecionados.

Nome Comercial	Tipo Petrográfico	Procedência
Lilas Gerais	Gnaiss sienogranítico róseo	Itapecirica, MG
Verde Lavras	Gnaiss charnoquítico cinza-esverdeado	Lavras, MG
Marrom Caldas	álcali-feldspato quartzo sienito	Caldas, MG
Preto Piracema	gabro com quartzo	Piracema, MG
Ibiúna Amêndoa Vermelha*	Biotita-hornblenda monzogranito porfiróide com matriz granodiorítica	Ibiúna, SP

* nome comercial sugerido por Navarro (2002).

Abaixo encontra-se uma breve descrição petrográfica dos tipos selecionados.

Granito Lilas Gerais

Corresponde a um gnaiss sienogranítico de coloração róseo-lilás, com estrutura gnáissica homogênea do tipo fitada, a localmente com discreto aspecto bandado. A estrutura gnáissica caracteriza-se por forte iso-orientação dos cristais quartzo-feldspáticos alongados, ressaltada pela presença de concentrações lineares, descontínuas de minúsculas lamelas de biotita distribuídas de forma mais ou menos homogênea pela rocha, conferindo-lhe feição fitada. Já o aspecto bandado, bastante discreto, deve-se a leitões subcentimétricos descontínuos, irregularmente espaçados, compostos por frações quartzo-feldspáticas mais grosseiras e empobrecidas em biotita. A textura é tipicamente granoblástica, predominantemente equigranular, de granulação média a média-fina, a inequigranular, devido a presença esporádica de leitões quartzo-feldspáticos de granulação mais grosseira. A granulação oscila entre 2,0 e 6,0 mm, com a presença de raros cristais de feldspato potássico que atingem dimensões próximas a 1,0 cm, e na média dimensões ao redor de 2,0 a 3,0mm. Microscopicamente, os minerais mostram bom engrenamento entre si, caracterizados por boa recristalização metamórfica, e apenas localmente apresentam feições microgranulares a fracamente protomilonítica. O grau de microfissuramento mineral é bastante discreto e a alteração mineral fraca a praticamente ausente, evidenciada por cristais de plagioclásio pouco saussuritizados. *Mineralogia: microclínio (35,4%), plagioclásio (23,1%), quartzo (34,6%), biotita (6,7%) e opacos (0,2%).*

Granito Verde Lavras

Representado por um gnaiss charnoquítico de coloração cinza esverdeada com estrutura gnáissica homogênea, grosseiramente orientada, e discreto padrão listrado caracterizado por concentrações lineares a anastomosadas, mais ou menos contínuas de biotitas lamelares. Apresenta textura porfiróide serial, com matriz quartzo-feldspática protomilonítica a blastomilonítica de granulação média a média grossa. Os megacristais de microclínio e, subordinadamente, de plagioclásio perfazem aproximadamente 15% do volume da rocha e exibem formas retangulares, que podem atingir dimensões de até 4,0 x 1,0 cm, ovaladas, alongadas e estiradas. Os cristais retangulares e, em alguns casos, os ovalados, encontram-se parcialmente envoltos por anéis de biotita e/ou agregados microcristalinos. Microscopicamente, apresenta textura protomilonítica a blastomilonítica caracterizada pela presença de delgados leitões com minerais microgranulares, parcial a totalmente recristalizados. Estes leitões são milimétricos a submilimétricos, geralmente de aspecto anastomosado e heterogeneamente distribuídos pela rocha. Os megacristais apresentam desde bordas microgranuladas, fraturas cicatrizadas e microfalhas, até intenso estiramento com o desenvolvimento de cristais alongados e mesmo laminados, iso-orientados, e no geral com intensa recristalização metamórfica. *Mineralogia: ortoclásio mesoperítico (31,4%), plagioclásio (15,8%), quartzo (39,3%), agregados microcristalinos fibrosos (7,0%), biotita (4,7%), opacos (1,6%) e bastita (0,5%).*

“Granito” Marrom Caldas

Este tipo corresponde na verdade a um álcali-feldspato quartzo sienito de coloração marrom clara com estrutura orientada (estrutura de fluxo plástico), marcada por intensa iso-orientação de cristais tabulares de feldspato potássico. A textura é fanerítica, discretamente inequigranular, de granulação predominante média. A granulação varia entre 2,0 e 6,0 mm, predominando na faixa de 2,0 a 3,0 mm.

A alteração dos feldspatos se apresenta com diferentes graus de intensidade e heterogeneamente distribuída, sendo mais proeminente quando associada ao fraturamento de maior expressividade, o qual ocorre perpendicularmente ao maior alongamento do grão. *Mineralogia: ortoclásio (65,8%), diopsídio (8,8%), hornblenda (7,8%), aegerina-augita (4,5%), biotita (0,3%), oligoclásio (1,8%), quartzo (4,8%), opacos (3,3%), titanita (1,4%), apatita (1,5%), zircão e rutilo (traços).*

“Granito” Preto Piracema

Esta rocha corresponde petrograficamente a um gabro com quartzo, de cor preta com estrutura isotrópica, maciça. A textura é fanerítica média-fina, com a presença de esporádicos cristais prismáticos de plagioclásio, o que confere à rocha um aspecto discretamente porfirítico. Microscopicamente exhibe textura subofítica intergranular, contendo intersticialmente quartzo e microclínio. *Mineralogia: plagioclásio (54,1%), clinopiroxênios (34,4%), opacos (4,1%), hornblenda (2,7%), microclínio (1,9%) e quartzo (2,8%).*

“Granito” Ibiúna Amêndoa Vermelha

Rocha classificada como biotita-hornblenda monzogranito porfiróide com matriz granodiorítica de coloração cinza contendo megacristais rosados. Apresenta estrutura foliada anastomosada, de natureza protomilonítica, caracterizada pelo arranjo subparalelo dos minerais máficos e intenso estiramento de grãos/agregados de quartzo e de megacristais de microclínio. Apresenta textura porfiróide (30% ou mais de megacristais) com matriz inequigranular, hipidiomórfica, de granulação média a média-grossa com megacristais, oscilando entre 2,0 e 10,0 cm, na média 6,0 cm. A alteração dos feldspatos ocorre de forma bastante heterogênea, podendo estar em pontos localizados da amostra, em manchas extensas, mas com pouca intensidade ou muito intensa em pequenas porções isoladas. O fraturamento é marcadamente intracristalino e muito intenso, sobretudo no microclínio, o mineral mais afetado. *Mineralogia: microclínio (30,5%), oligoclásio (24,2%), quartzo (28,7%), hornblenda (7,2%), biotita (6,5%), opacos (1,2%), titanita (2,4%), apatita (0,3%) e moscovita (traços).*

MÉTODO DE TRABALHO

As rochas acima mencionadas foram coletadas em volume suficiente para a caracterização tecnológica das propriedades mecânicas referentes a resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura. Ao todo foram obtidos 82 corpos-de-prova, sendo 45 deles destinados aos ensaios de resistência à

compressão e 37 para a determinação do módulo de ruptura, conforme a Tabela 2.

TABELA 2: Relação do número de corpos-de-prova submetidos aos ensaios de resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura para cada um dos cinco tipos de rochas analisadas.

ENSAIOS		Compressão Uniaxial	Módulo de Ruptura
ROCHAS	Lilas Gerais	8	8
	Verde Lavras	10	6
	Marrom Caldas	10	9
	Preto Piracema	7	7
	Ibiúna Amêndoa Vermelha	10	7
TOTAL		45	37

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial foram executados segundo as prescrições da norma NBR 12767 (ABNT, 1992a). Para cada rocha considerada foram obtidos no mínimo sete corpos-de-prova de forma cúbica com aresta de 7,5 cm, submetidos a esforços de compressão uniaxial até a ruptura.

A obtenção dos valores de módulo de ruptura seguiu os procedimentos da norma NBR 12763 (ABNT, 1992b), a qual preconiza a obtenção de no mínimo cinco corpos-de-prova com dimensões de 5,0 x 10,0 x 20,0 cm, para cada rocha analisada.

As tensões de ruptura referentes aos ensaios de compressão e módulo de ruptura foram obtidas com os corpos-de-prova em estado seco para todas as amostras analisadas.

Considerando as rochas anisotrópicas (foliadas) representadas pelos tipos Lilas Gerais, Verde Lavras, Marrom Caldas e Ibiúna Amêndoa Vermelha houve atenção especial quanto ao esforço aplicado em relação à estruturação presente. Dessa maneira para a determinação do módulo de ruptura considerou-se a direção do esforço paralelamente ao sentido da foliação, simulando o corte utilizado no mercado (Figura 1A). Para o ensaio de resistência à compressão uniaxial parte das amostras sofreram esforço paralelo à direção do plano de foliação e parte perpendicular, conforme relacionado na Tabela 3 e representado na Figura 1B.

Como procedimento anterior à realização dos ensaios mecânicos executou-se a medição da propagação de ondas ultra-sônicas em cada um dos corpos-de-prova considerados, segundo as diretrizes da norma D2845 (ASTM, 1990). O aparelho utilizado corresponde a um medidor de pulso ultra-sônico James modelo C-8901 portátil, que possui dois transdutores piezoelétricos, sendo um para transmissão e outro para recepção de ondas sonoras com frequência entre 36 kHz e 500kHz. A indução dessas ondas elétricas longitudinais (conhecidas como V_p ou de compressão) e da medida do tempo de propagação, permite o cálculo da velocidade de propagação de onda correspondente a cada corpo-de-prova medido.

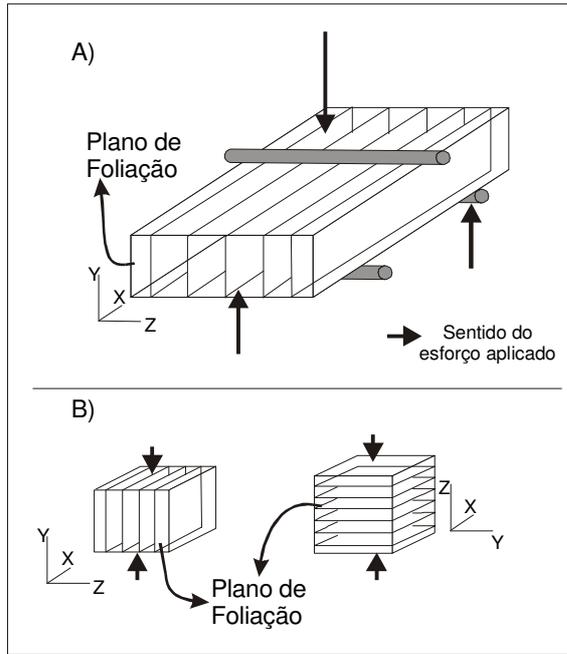


FIGURA 1: Relação entre a foliação e o eixo de compressão considerado nos ensaios mecânicos módulo de ruptura (A) e resistência à compressão uniaxial (B).

TABELA 3: Relação entre a direção de foliação e os esforços aplicados para o ensaio de resistência à compressão uniaxial nas amostras foliadas.

	esforço aplicado em relação à foliação para a compressão uniaxial	
	paralelo	perpendicular
Lilas Gerais	1 a 8 simulando a direção de uso	---
Verde Lavras	6, 7, 8, 9 e 10	1, 2, 3, 4 e 5
Marrom Caldas	1, 2, 3, 4 e 5	6, 7, 8, 9 e 10
Ibiúna Amêndoa Vermelha	1, 2, 3, 4 e 5	6, 7, 8, 9 e 10

Para os corpos-de-prova submetidos à compressão, a propagação de ondas foi medida paralelamente ao sentido do esforço compressivo (Figura 2A). Nos paralelogramos submetidos ao ensaio de módulo de ruptura, a propagação das ondas foi realizada em sentido paralelo ao comprimento do corpo-de-prova (Figura 2B).

O tratamento dos dados consistiu basicamente na comparação através de gráficos dos valores de resistência à compressão e módulo de ruptura com os respectivos valores de velocidade de propagação de ondas P obtidos, utilizando-se para isso o programa Excel versão 97. O passo seguinte foi a obtenção de gráficos de correlação e a geração de equações de primeiro grau (tipo $y = ax + b$), correlacionando as variáveis mecânicas com a velocidade de propagação.

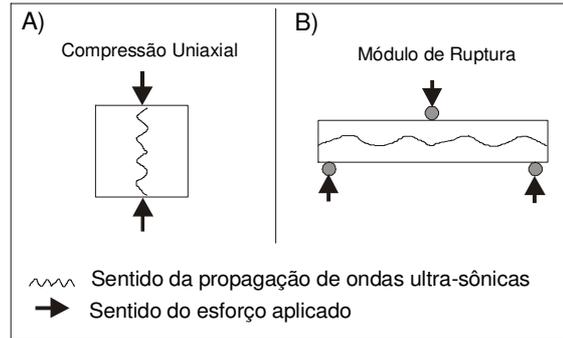


FIGURA 2: Orientação das direções de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (D 2845; ASTM 1990) para os corpos-de-prova utilizados para os ensaios de (A) determinação da resistência à compressão uniaxial (NBR 12767; ABNT 1992a) e (B) determinação do módulo de ruptura (NBR 12763; ABNT 1992b) com as respectivas direções de propagação de ondas.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados mecânicos obtidos mostram ótimos valores de resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura para todas rochas investigadas. Comparando os valores médios desses ensaios com os limites propostos por Frazão & Farjallat (1996), apresentados na Tabela 4, vemos que os dados obtidos para essas rochas superaram com tranquilidade os referidos limites.

TABELA 4: Valores médios de resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura para as rochas analisadas e valores limites propostos por Frazão & Farjallat (1996).

	Compressão uniaxial (MPa)	Módulo de Ruptura (MPa)	Velocidade de ultra-som (m/s)*
Limites propostos por Frazão & Farjallat (1996)	≥100	≥10	≥4000
Lilas Gerais	177,8	18,9	5294,3
Verde Lavras	232,6	22,6	5491,0
Marrom Caldas	172,3	12,8	4753,5
Preto Piracema	223,7	23,2	6221,1
Ibiúna Amêndoa Vermelha	149,6	13,5	5107,0

* os valores de velocidade de ultra-som apresentados nesta tabela correspondem aos valores médios contidos na Tabela 5, para cada uma das amostras analisadas.

O valores contidos na Tabela 5 mostram os resultados mecânicos e de propagação de ondas obtidos para cada corpo-de-prova de todas as rochas estudadas. De modo geral os resultados mostram pequena variabilidade entre os corpos-de-prova do mesmo tipo de rocha considerada. Assim temos que as variações entre os valores máximos e mínimos para os ensaios de módulo de ruptura não excedem 7 MPa (Marrom Caldas e Ibiúna Amêndoa Vermelha), e seus respectivos valores de velocidade de ultra-som não excedem 740 m/s. Para o ensaio de compressão

uniaxial a diferença entre os valores máximos e mínimos chega a 150 MPa (Verde Lavras) e os valores de velocidade de ultra-som chegam 820 m/s. Ressalta-se que a oscilação dos valores de compressão são relativamente elevadas e serão oportunamente discutidas a frente.

TABELA 5: Valores de Resistência à Compressão Uniaxial e Módulo de Ruptura e respectivos valores de velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) obtidos para os cinco litotipos estudados.

rocha	nº corpo-de-prova	Ensaio tecnológico			
		Compressão Uniaxial	Vp	Módulo de Ruptura	Vp
		MPa	m/s	MPa	m/s
Lilas Gerais (LG)	1	168,3	5312,8	19,2	5189,1
	2	156,8	5250,4	20,1	5214,5
	3	162,1	5452,3	18,3	5179,1
	4	181,9	5411,5	19,1	5290,8
	5	186,3	5368,2	20,3	5090,9
	6	167,9	5208,5	17,7	5115,8
	7	193,9	5256,7	18,5	5343,9
	8	204,8	5446,8	18,7	5409,9
	média	177,79	5359,41	18,98	5229,2
Verde Lavras (VL)	1	217,	5310,8	23,3	5532,8
	2	267,1	5681,3	22,5	5477,5
	3	207,9	5175,9	22,9	5416,1
	4	123,8	5568,8	24,9	5458,8
	5	275,5	5742,5	21,4	5538,2
	6	252,0	5741,7	20,7	5475,1
	7	269,5	5667,7	---	---
	8	231,8	5830,8	---	---
	9	217,8	5145,5	---	---
	10	263,8	5125,0	---	---
média	232,59	5499,01	22,63	5483,1	
Marrom Caldas (MC)	1	153,5	4382,1	14,9	4995,7
	2	167,4	4465,0	14,5	4896,0
	3	190,7	4516,4	11,9	4414,0
	4	159,5	4510,1	9,9	4897,7
	5	156,3	4478,8	15,5	5029
	6	191,4	5130,4	13,2	4367,3
	7	174,2	5173,0	9,6	4290,1
	8	181,1	5205,3	12,3	4360,7
	9	184,1	5231,3	13,3	4872,7
	10	164,7	5110,4	---	---
média	172,30	4826,73	12,79	4680,3	
Preto Piracema (PP)	1	186,6	6389,3	24,8	6120,8
	2	239,1	6252,2	20,5	6054,9
	3	221,8	6367,0	22,9	6153,8
	4	293,3	6243,5	23,4	6134,4
	5	187,4	6422,7	22,3	6128,4
	6	211,6	6283,6	24,6	6139,8
	7	226,2	6249,6	23,7	6156,8
	média	223,72	6315,4	23,18	6126,9
Ibiúna Amêndoa Vermelha (IBV)	1	123,9	5359,2	14,8	5398,4
	2	159,9	5227,3	9,2	4942,0
	3	127,3	4813,6	14,3	4969,5
	4	175,9	5436,4	13,4	4911,7
	5	171,1	5283,6	12,6	5130,4
	6	164,1	5186,4	14,7	5250,3
	7	154,9	5113,2	15,6	5067,1
	8	132,5	4611,0	---	---
	9	136,6	4891,0	---	---
	10	149,5	5263,6	---	---
média	149,59	5118,5	13,50	5095,6	

A partir desses valores foram criados gráficos comparativos entre os dados de módulo de ruptura e velocidade de ultra-som, e entre os dados de compressão uniaxial e velocidade de ultra-som apresentados respectivamente nos Gráficos 1 (A, B, C, D, E) e 2 (A, B, C, D, E)

Observando os dados contidos no Gráfico 1 (A, B, C, D, E) referentes à cada uma das rochas consideradas, nota-se grande coerência entre os dados do módulo de ruptura e velocidade de ultra-som obtidos. Entretanto algumas situações específicas devem ser comentadas sob o ponto de vista mineralógico, textural e estrutural, no que se refere às variações nos parâmetros mensurados.

O Gráfico 1A apresenta dados referentes ao granito Lilas Gerais, onde observa-se pequena oscilação nos valores de módulo de ruptura, embora os dados de propagação apresentem variações mais expressivas. Tais oscilações podem ser explicadas à luz das informações petrográficas apresentadas anteriormente. Assim, pode-se atribuir para os casos com diminuição brusca da velocidade de ultra-som (corpos-de-prova LG 2 e LG 5) a influência de variações na granulação e/ou maior concentração de biotita nessas amostras, feições essas presentes nas porções gnáissicas dessa rocha.

Conforme dados de Rzhovsky & Novik (1971), sabe-se que a biotita mostra valores de velocidade de propagação de ondas ligeiramente menores que os do quartzo e feldspatos. Entretanto cabe ressaltar que o comportamento mecânico dos minerais micáceos exibe tendência plástica, fato que garante um valor de módulo semelhante ao das demais amostras apesar da granulação ligeiramente maior.

Por outro lado casos como os corpos-de-prova LG 7 e LG 8, podem ser explicados por teores menores de biotita e pela menor granulação presente nas porções com estrutura fitada da rocha. Apesar da granulação mais fina garantir maior velocidade de ultra-som, a resistência mecânica pode ser ligeiramente diminuída pela presença de heterogeneidades na granulação, o que explica os valores de resistência semelhantes aos dos outros corpos-de-prova.

Observando-se os dados referentes ao granito Verde Lavras apresentados no Gráfico 1B, nota-se uma pequena anomalia no comportamento mecânico dos corpos-de-prova VL 3 e VL 5, que pode estar ligada às variações no grau de imbricamento mineral definido pela maior ou menor intensidade da foliação presente, constituindo assim um fator textural e estrutural de relevância para o comportamento mecânico, mas não refletido pelas ondas ultra-sônicas. Ademais a presença de minerais opacos (cerca de 1,5%) pode causar distorções na propagação de ondas visto o valor ligeiramente maior dessa propriedade que esses minerais apresentam em relação aos minerais silicáticos (Rzhovsky & Novik, 1971).

O tipo Marrom Caldas (Gráfico 1C) é a rocha que apresenta maior variabilidade da velocidade de propagação de ondas. Do ponto de vista composicional, o ortoclásio é o mineral predominante e perfaz cerca de 65% do volume da rocha. Sua velocidade de ultra-som é de cerca de $5,68 \times 10^3$ m/s, conforme

Rzhevsky & Novik (1971). Os mesmos autores apresentam valores de ultra-som de $7,23 \times 10^3$ m/s para o diopsídio (presente em 8,8% da rocha), $6,8 \times 10^3$ m/s para a hornblenda (7,8%) e $7,35 \times 10^3$ m/s para aegirina-augita (4,5%). Baseado nessas informações deve-se esperar um valor mínimo de velocidade de ultra-som ao redor de 6000 m/s para os corpos-de-prova deste litotipo. Entretanto os resultados laboratoriais para a velocidade de ultra-som variam de 4290 m/s a 5030 m/s, o que permite concluir que esses valores e suas respectivas oscilações devem estar controlados pelo expressivo fraturamento observado no ortoclásio e pela maior ou menor intensidade da alteração desses minerais.

Quanto ao tipo Preto Piracema (Gráfico 1D) observa-se uma variação de apenas 5 MPa entre os valores máximos e mínimos de módulo de ruptura e de apenas 100 m/s entre os valores máximo e mínimo de velocidade de ultra-som.

A amostra Ibiúna Amêndoa Vermelha (Gráfico 1E), é a rocha estudada que apresenta maior complexidade do ponto de vista estrutural e textural. Como principais aspectos que possam explicar a variabilidade dos valores de ultra-som, destaca-se a interação entre a granulação heterogênea (média a média-grossa), a foliação anastomosada bastante afetada pela presença de fenocristais de microclínio (dimensões entre 2,0 e 10,0 cm) mais ou menos orientados, além do fraturamento intenso e das variações de intensidade e distribuição da alteração nesses fenocristais. A combinação desses fatores é algo complexa e com certeza apresentam papel importante na propagação da onda de ultra-som, sendo de grande dificuldade a definição de qual desses parâmetros é o mais preponderante.

Com relação aos dados de resistência à compressão uniaxial apresentados no Gráfico 2 (A, B, C, D, E), observa-se relações interessantes e bastante coerentes, cabendo comentários para situações específicas, que apresentam algumas anomalias.

O granito Lilas Gerais, representado no Gráfico 2A apresenta dados de compressão e de velocidade de ultra-som bastante coerentes. As oscilações mais significativas são exibidas pelos corpos-de-prova LG 3 e LG 7, e podem estar ligadas a variações de granulação a exemplo das variações discutidas para os dados de módulo de ruptura.

Os dados apresentados no Gráfico 2B, referentes ao granito Verde Lavras, mostram uma boa concordância entre os valores de compressão e velocidade de ultra-som, com exceção dos corpos-de-prova VL3, VL 4, VL 9 e VL 10.

A presença de leitos delgados com minerais microgranulares parcial a totalmente recristalizados associados a agregados microcristalinos fibrosos (biotita, clorita, actinolita-tremolita), pode explicar os valores altos para a compressão uniaxial associado aos baixos valores de velocidade de ultra-som apresentados pelas amostras VL 3, VL 9 e VL 10. Ao mesmo tempo que os agregados fibrosos reduziriam a velocidade de ultra-som produziriam melhor acomodação e redistribuição dos esforços no momento da aplicação da carga, garantindo alta resistência.

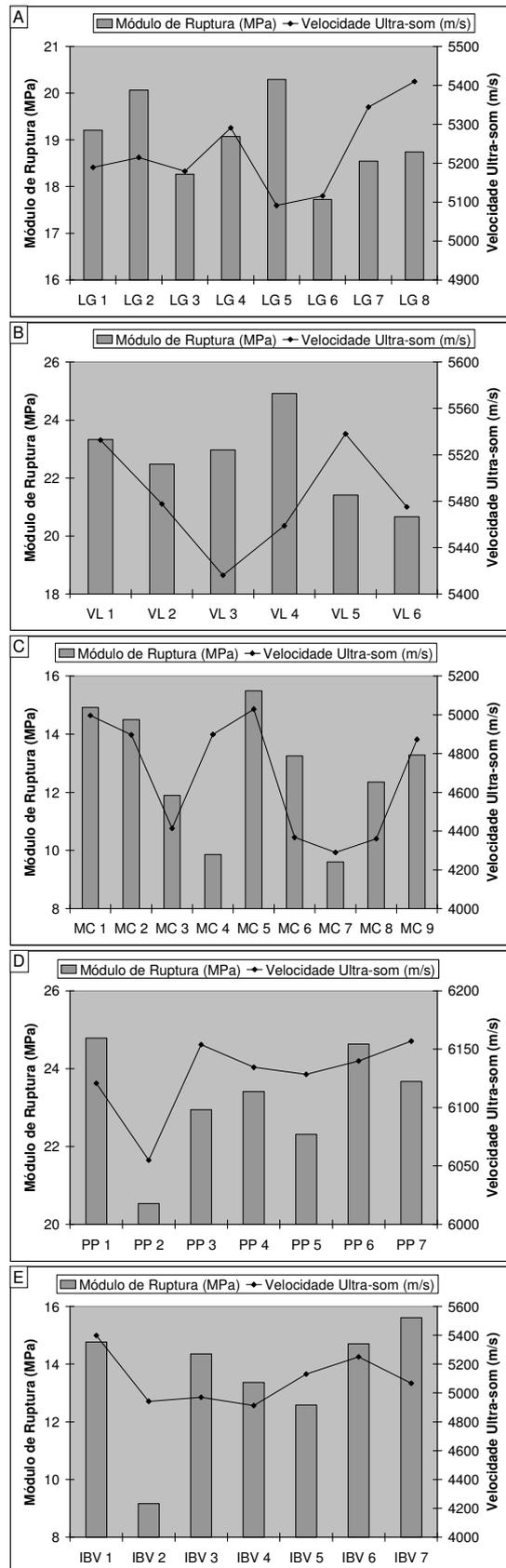


GRÁFICO 1: Dados de módulo de ruptura (MPa) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (m/s) para as amostras Lilas Gerais (A), Verde Lavras (B), Marrom Caldas (C), Preto Piracema (D) e Ibiúna Amêndoa Vermelha (E).

No caso da amostra VL 4 a situação se inverte, ou seja, o valor de compressão é bastante baixo, embora a velocidade de propagação esteja dentro da média das demais amostras. A observação em lâmina de megacristais com bordas microgranuladas, fraturas cicatrizadas e microfalhas, pode explicar o baixo valor de resistência mecânica. Pode-se interpretar que o tamanho reduzido desses planos de fraqueza não possibilitem sua detecção através da propagação de ondas de ultra-som. Entretanto o significado mecânico dessas estruturas seria a redistribuição das tensões acumuladas nesses pontos durante a aplicação da carga, causando a propagação das fraturas e culminando na ruptura da rocha, segundo postulado pela teoria de Griffith (in Rzhovsky & Novik, 1971; Vutukuri *et al.*, 1974).

Para a amostra Marrom Caldas (Gráfico 2 C) observa-se o efeito marcante da orientação cristalográfica do ortoclásio, dada pela foliação de fluxo, na velocidade de propagação de ondas. Os valores de velocidade de ultra-som medidos paralelamente à foliação são consideravelmente menores que os valores medidos perpendicularmente a essa estrutura. Já para os resultados de compressão observa-se pequena variação entre o conjunto de corpos-de-prova com carga aplicada paralelamente à foliação e o conjunto com carga aplicada perpendicularmente à foliação. Comparando os valores médios de resistência à compressão desses dois conjuntos temos respectivamente 165,5 MPa e 179,1 MPa.

O tipo Preto Piracema (Gráfico 2D) mostra pequenas variações nos valores de velocidade de ultra-som embora a diferença entre as amostras mais e menos resistentes seja de 107 MPa. A maioria das amostras apresentam dados coerentes quanto às variações entre os dados mecânicos e de ultra-som, contudo os corpos-de-prova PP1, PP 5 e PP 4, constituem situações especiais. Os dois primeiros casos apresentam baixa resistência à compressão e alta velocidade de ultra-som. Uma explicação possível é a alta concentração de clinopiroxênios e hornblenda, minerais com alta velocidade de propagação, respectivamente $7,35 \times 10^3$ m/s e $6,8 \times 10^3$ m/s (Rzhovsky & Novik, 1971). Entretanto esses minerais apresentam clivagem boa em uma direção e partição em duas ou três direções (Deer *et al.*, 1966), podendo estar mais ou menos fraturados. Tais feições petrográficas, constituem portanto, planos de fraqueza e pontos de redistribuição de tensões permitindo a aplicação da teoria de Griffith.

Os dados referentes ao tipo Ibiúna Amêndoa Vermelha (Gráfico 2E), podem ser considerados de muito boa qualidade, em vista da coerência entre os dados de compressão e ultra-som, embora apresente grande complexidade e variações texturais e estruturais. A exceção fica por conta dos corpos-de-prova IBV 1 e IBV 10, que apresentam altos valores de ultra-som e baixa resistência à compressão, fato que pode ser atribuído à presença dos fenocristais e da maior ou menor ocorrência de microfaturas que podem ocorrer nos mesmos.

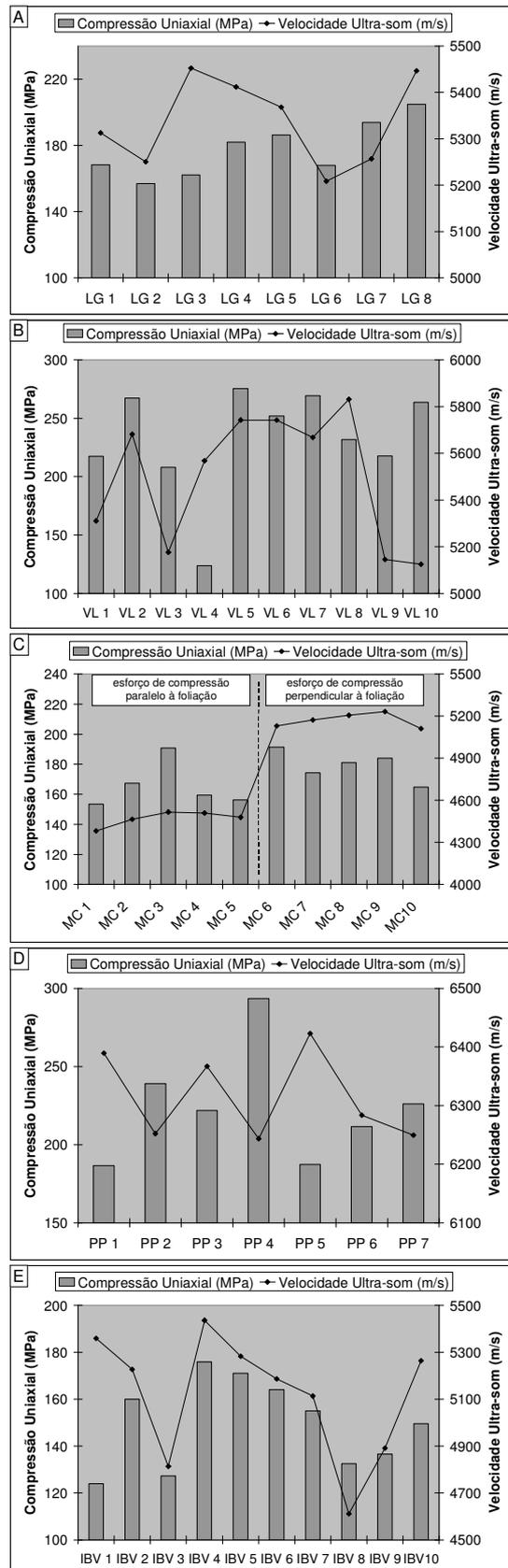


GRÁFICO 2: Dados de resistência à compressão uniaxial (MPa) e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (m/s) para as amostras Lilas Gerais (A), Verde Lavras (B), Marrom Caldas (C), Preto Piracema (D) e Ibiúna Amêndoa Vermelha (E).

A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO COMO FERRAMENTA DE PREVISÃO DE PARÂMETROS MECÂNICOS

Os gráficos acima apresentados e discutidos permitem concluir que existe um grau de correlação entre os parâmetros mecânicos considerados e a velocidade de propagação de ondas suficiente para o estabelecimento de equações matemáticas. Embora existam situações específicas que não mostram uma correlação direta entre as variáveis tecnológicas consideradas, pode-se encontrar explicações na complexa relação entre os parâmetros petrográficos, conforme discutido. Estudos complementares direcionados para o reconhecimento da influência desses parâmetros na velocidade de ultra-som, sem dúvida contribuirão para uma previsão mais precisa dos parâmetros mecânicos através dessa técnica.

Considerando-se os pontos favoráveis destaca-se a previsão rápida de parâmetros mecânicos relativamente com baixo erro. Constitui ainda um método não destrutivo e de fácil execução, cuja aplicação de cunho prático é a estimativa dos parâmetros mecânicos, aqui considerados, em blocos, placas ou outras peças.

Procurando mostrar a correlação entre os resultados de resistência à compressão uniaxial e módulo de ruptura com os respectivos dados de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, foram gerados gráficos de correlação. Juntamente com esses gráficos foram geradas equações de regressão linear e seus respectivos coeficientes de correlação.

Aplicando análise de regressão linear simples aos dados de módulo de ruptura e velocidade de ultra-som para todas as rochas analisadas, foi obtido um coeficiente de correlação R bastante elevado, igual 83,2% ($R^2 = 0,6925$), como mostra o Gráfico 3. Isso significa que, ao menos nas rochas analisadas, o módulo de ruptura, pode ser previsto com 80% de chance de acerto. Com base nessas informações propõe-se a equação abaixo para previsão do módulo de ruptura a partir de dados de velocidade de ultra-som em rochas graníticas utilizadas como rocha ornamental e de revestimento:

$$MR = 0,0075V_p - 21,832$$

onde: MR = módulo de ruptura (MPa), e
 V_p = velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s).

Também através da análise de regressão linear definiu-se o coeficiente de correlação entre os dados de resistência à compressão uniaxial e velocidade de ultra-som ($R = 54,2\%$ e $R^2 = 0,2938$). A reta representada no Gráfico 4 permite a previsão da compressão uniaxial, e pode ser descrita segundo a equação:

$$Unix = 0,043V_p - 40,901$$

onde: $Unix$ = resistência à compressão uniaxial simples (MPa), e
 V_p = velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s).

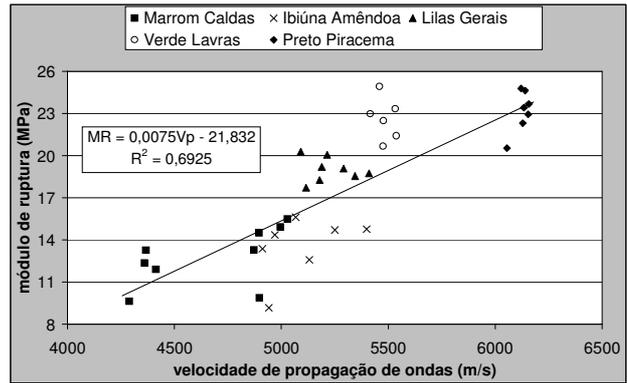


GRÁFICO 3: Análise de regressão linear entre módulo de ruptura (MPa) e velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em 37 corpos-de-prova obtidos dos tipos Lilas Gerais, Verde Lavras, Marrom Caldas, Preto Piracema e Ibiúna Amêndoa Vermelha.

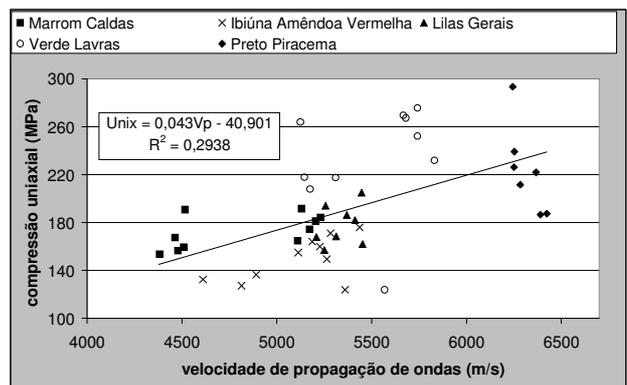


GRÁFICO 4: Análise de regressão linear entre resistência à compressão uniaxial (MPa) e velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em 45 corpos-de-prova obtidos dos tipos Lilas Gerais, Verde Lavras, Marrom Caldas, Preto Piracema e Ibiúna Amêndoa Vermelha.

Embora o coeficiente de correlação apresentado para o parâmetro resistência à compressão seja cerca de 30% mais baixo que o apresentado para o módulo de ruptura, também pode ser considerado um dado significativo para a previsão da compressão.

Segundo Landim (1997) coeficientes de correlação entre variáveis geológicas dificilmente chegam a 50%, o que faz com que os dados aqui apresentados sejam aceitos para testes futuros envolvendo a tentativa de previsão dos parâmetros tecnológicos módulo de ruptura e resistência à compressão uniaxial através de medidas de velocidade de ultra-som em rochas graníticas utilizadas como material de revestimento.

CONCLUSÕES

Embora o comportamento mecânico das rochas apresentem uma complexidade grande para ser explicado com base em um ou dois parâmetros, observa-se que a utilização da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas constitui uma ferramenta promissora para a previsão desses parâmetros.

Nesse escopo, o trabalho apresenta dados tecnológicos obtidos em rochas ornamentais e de revestimento, discutindo o comportamento anômalo de alguns corpos-de-prova com base nas características petrográficas dos materiais analisados. Além disso correlaciona dois ensaios mecânicos (módulo de ruptura e compressão uniaxial) com seus respectivos valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, propondo com isso duas equações que possibilitam a previsão desses ensaios mecânicos em granitos ornamentais através de um método expedito, de baixo custo e não destrutivo.

Ressalta-se que a aplicação das equações aqui propostas não substituem ou desqualificam a realização dos ensaios mecânicos em laboratórios específicos segundo os procedimentos normalizados, uma vez que constitui um método orientativo para estudos posteriores e detalhados.

Além das duas equações propostas o trabalho abre linhas de investigação futuras. Dentre elas pode-se citar a execução de ensaios em amostras saturadas com água, permitindo uma avaliação mais adequada de rochas em situações de campo, tais como jazidas e obras em que estejam sendo utilizadas; a investigação da real influência dos teores de minerais micáceos para o comportamento mecânico e dos minerais ferromagnesianos para as anomalias de ultra-som; a influência de foliações, estruturas de fluxo e orientações cristalográficas, bem como o microfraturamento para as variações dos ensaios mecânicos e de propagação de ondas.

Os trabalhos de doutorado do autor deverão seguir essa linha de investigação, procurando elucidar algumas dessas questões.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Profs. Drs. Peter Christian Hackspacher (DPM/IGCE/UNESP Rio Claro) e Siegfried Siegesmund (Universidade de Göttingen, Alemanha) pelas discussões e empréstimo de bibliografias. Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Artur (DPM/IGCE/UNESP Rio Claro) pelo auxílio com a petrografia. Ao técnico Adilson José Rossini (Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP Rio Claro) pelo auxílio na execução de parte dos ensaios apresentados neste trabalho. À FAPESP pelo apoio financeiro através do processo 02/03363-2.

BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992a. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2 p. (norma ABNT-NBR 12767).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992b. Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à flexão. 3 p. (norma ABNT-NBR 12763).

ASTM - American Society for Testing and Materials 1990. Standard Test Method for Laboratory: Determination of Pulse Ultrasonic Elastic Constants of Rocks. 5p. (standard D-2845).

Deer, W.A.; Howie, R.A. & Zussman, J. 1966. An Introduction to the rock forming minerals. London, 1966. 558p.

Figueiredo, P.; Aires-Barros, L.; Torquato, J.R.; Besa, M.F.; Lima, M.B.A.; Fernandes, A.H.M. & Machaqueiro, P. 2001. Contribuição para o estudo das propriedades petrofísicas do Granito Asa Branca e Rosa Iracema do Ceará (Brasil). Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p:31-36.

Frazão, E.B. & Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8. 1996. ABGE. V1. p: 369-380.

Köhler, W. 1991. Untersuchungen zu Verwitterungsvorgängen an Carrara-Marmor in Potsdam-Sanssouci. Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland, Steinschäden-Steinkonservierung, 2: 50-53; Hannover.

Lama, R.D. & Vutukuri, V.S. 1978. Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results. Clausthal, Germany. Vol 2. 481p.

Landim, P.M.B. 1997. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998 (Ciência e Tecnologia). 226p.

Navarro, F.C. 2002. Caracterização Petrográfica como técnica para a previsão do comportamento físico e mecânico de "granitos" ornamentais. Dissertação de Mestrado IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. 88p.

Ruedrich, J.; Siegesmund, S.; & Richter, D. 2001a. Marble columns and their state of weathering: structural evidence and ultrasonic tomography. Z. dt. Geol. Ges. 152 (2-4) p: 665-680; Stuttgart.

Ruedrich, J.; Weiss, T. & Siegesmund, S. 2001b. Deterioration characteristics of marbles from the Marmopalais Potsdam (Germany): a compilation. Z. dt. Geol. Ges. 152 (2-4) p: 637-663; Stuttgart.

Rzhevsky, V. e Novik, G. 1971. The Physics of Rocks. Moscow, MIR Publishers, 320p.

Santim, J. L. 1996. Ultra-som: técnica e aplicação. Rio de Janeiro. 287p.

Vutikuri, V.S.; Lama, R.D. & Saluja, S.S. 1974. Handbook on mechanical properties of rocks - Testing Techniques and Results. Clausthal, Germany. Vol 1. 280p.

Weiss, T.; Siegesmund, S.; Rasolofosaon, P.N.J. 2000. The relationship between deterioration, fabric, velocity and porosity constraint. 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Venice, 2000. p:215-223.

Weiss, T.; Rasolofosaon, P.N.J. & Siegesmund, S. 2001 Thermal microcracking in Carrara marble. Z. dt. Geol. Ges. 152 (2-4) p: 621-636; Stuttgart

USO DO PUNDIT NA DETERMINAÇÃO DE ANOMALIAS ULTRA-SÔNICAS EM BLOCOS ROCHOSOS

Joaquim Raul Torquato¹, Maria de Fátima Bessa¹ e Hélio Muniz Fernandes¹

¹NUTEC – DITEM. Av. Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici – 60.451-970 – Fortaleza - CE
Fone: (85)287-5211 - Fax: (85)287-1522
E_mail: torquato@secrel.com.br

RESUMO

Uma das análises tecnológicas efetuadas em rochas ornamentais é o estudo do seu comportamento quando expostas a processos de exposição a ondas ultra-sônicas. A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e coesão das rochas.

O estudo de algumas amostras de rochas graníticas aparentemente isotrópicas, mas, com características sônicas totalmente anômalas, se medidas segundo três direções perpendiculares, veio demonstrar as possibilidades de uso desta técnica para a determinação de anomalias mineralógicas ou estruturais em escala não visível a olho nu.

Foram feitas repetições dos ensaios que comprovaram o fato e observações em lâminas delgadas, que mostraram a presença de elementos mineralógicos com orientação incipiente; mas, suficiente para produzir a anomalia detectada com o aparelho PUNDIT (Portable Ultrasonic Non Destructive Indicator Tester).

INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento científico sobre a aplicação de técnicas laboratoriais relativamente novas torna possível, por vezes, encontrar uma nova aplicação para determinado aparelho. É o caso da utilização do PUNDIT (Portable Ultrasonic Non Destructive Indicator Tester), aparelho que se usa na determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais em blocos rochosos.

Durante a realização de um trabalho de rotina foi observado que as velocidades ultra-sônicas num cubo de granito que, no campo, parecia aparentemente muito homogêneo, se mostravam bastante díspares em relação às faces medidas, chegando a apresentar valores médios de diferenças da ordem dos 40%.

Neste trabalho apresentam-se os resultados que foram obtidos no sentido de determinar as causas de tal anormalidade.

Durante a execução do ensaio laboratorial, utilizaram-se corpos-de-prova cúbicos com $7 \pm 0,2$ cm de aresta, onde se determinaram as velocidades ultra-sônicas tanto nas rochas secas como saturadas.

O PUNDIT

De um modo geral os ultra-sons são ondas elásticas da mesma natureza das ondas sonoras porém com freqüências que estão fora do nível de percepção do ouvido humano (15 a 20 kHz) e a sua velocidade é medida com base no tempo de transito percorrido entre um emissor e um receptor por uma onda sonora numa distância conhecida.

MOUZA et al. (1983) comentam que as técnicas de ultra-sons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio, pois a medição dessa velocidade num material rochoso constitui um meio de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica, tendo a vantagem de não ser destrutivo.

O aparelho usado para os ensaios descritos foi o PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test), pertencente ao Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais do NUTEC, equipado com dois transdutores de 54 KHz, duas possibilidades de medidas, de 0,1 a 999,9 μ s com possibilidade de variação de 0,1 μ e de 1 a 9999,9 μ s em unidades de 1 μ s, provido de alimentação através de corrente elétrica ou bateria interna. Os disparos são automáticos através de oscilador de cristal de 10 MHz cuja precisão é da ordem de $\pm 0,1\mu$ s (Foto 1). É um dos poucos ensaios de caracterização tecnológica não destrutivos disponíveis para avaliação das características de alteração e de coesão das rochas, especialmente nos estudos de recuperação de monumentos históricos.

O MATERIAL ESTUDADO

Os granitos submetidos ao estudo ultra-sônico foram coletados de pedreiras localizadas na Serra da Meruoca, região noroeste do Ceará. São vendidos comercialmente sob os nomes de Granito Meruoca Clássico e de Granito Verde Ceará (Foto 2). Petrograficamente tratam-se de dois sienogranitos com textura hipidiomórfica seriada, tendo ambos, como minerais principais os feldspatos potássicos (25%<KF<50%), o quartzo (25%,quartzo<40%), o oligoclásio (5%<oligoclásio<15%) e as biotita e hornblenda com teores semelhantes e compreendidos entre 5 e 10%. Localmente, quer na pedreira, quer em amostra de mão, podem ser observadas pequenas concentrações de minerais máficos.



FOTO 1 - Equipamento utilizado para medir a velocidade ultra-sônica das rochas no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais do Nutec.

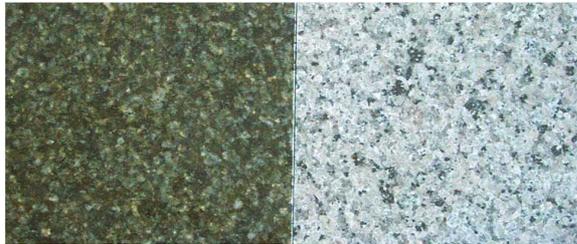


FOTO 2 – Placas polidas dos granitos Verde Ceará (esquerda) e Meruoca clássico (direita).

Como minerais acessórios presentes que, no máximo chegam a 3%, ocorrem opacos (óxidos de ferro), clorita, allanita, epidoto, titanita, fluorita, mica branca/sericita e minerais de argila neoformados.

Macroscopicamente os granitos são de granulação média, e, ambos fortemente coloridos, o Meruoca Clássico apresenta-se preferencialmente como cinza prateado e o Verde Ceará como verde escuro. Pelo conhecimento que se tem da geologia regional, acredita-se que ambos são provenientes da mesma câmara magmática e que as variações deverão ser o resultado da adição ou remoção de algum elemento durante as fases tardias de cristalização (Fe?, Pb?). Ainda sob o ponto de vista de mapeamento geológico, parece que o granito Verde Ceará foi cristalizado numa região mais central da câmara magmática em relação ao granito Meruoca Clássico.

OS VALORES ULTRA-SÔNICOS OBTIDOS

As medidas globais do parâmetro ultra-sônico em amostras secas e saturadas, destes granitos, forneceram inicialmente durante os trabalhos de laboratório os valores indicados na Tabela 1.

Quando do cálculo dos valores estatísticos da Tabela 1 chamou a atenção o fato do elevado valor do desvio padrão para o Granito Meruoca Clássico. Para tentar verificar o que se estava ocorrendo, foram feitas novas medições em novos corpos-de-prova coletados em blocos diferentes de

modo a se poder ter uma massa de valores que fosse significativa.

TABELA 1 - Resultados das Medidas de Velocidade Propagação de Ondas Vp (m/s) dos granitos em estudo

Granito	Valores	Vp _{seco} (m/s)	Vp _{saturado} (m/s)
Meruoca Clássico	médio	4092	5257
	máximo	4734	6061
	mínimo	3390	4542
	Desvio padrão	672	760
Verde Ceará	médio	5565	7117
	máximo	5876	8079
	mínimo	5341	7447
	Desvio padrão	141	118

Fez-se uma rigorosa análise macroscópica em todos os corpos-de-prova e verificou-se que era possível identificar, com um certo grau de segurança, os três conjuntos de faces paralelas de um cubo onde a quantidade de máficos presentes era maior, média e menor (Foto 3). A separação entre o maior valor e o menor, não oferece dúvidas, já o mesmo não se pode afirmar entre o maior e o médio e, o menor e o médio. Nestes dois casos, a separação foi feita, por vezes, mais por intuição do que por total certeza. Tal fato não alterou a interpretação final uma vez que os valores ultra-sônicos obtidos foram completamente diferentes nas duas direções extremas.



FOTO 3 – Vista geral dos cubos do granito Meruoca Clássico. Na face superior temos uma visão do que estamos chamando de maior concentração de minerais máficos, na face inferior observa-se as menores concentrações. Notar a grande dificuldade da separação entre elas.

Nas Tabelas 2 e 3 podemos ver os valores das velocidades ultra-sônicas medidas bem como os valores médios e desvios padrão do conjunto.

Pela análise das tabelas várias observações podem ser feitas, dentre elas evidenciam-se as principais:

- A grande disparidade do mesmo valor entre os 4 conjuntos de dados (caso do conjunto 1

que é nitidamente o de resultados mais elevados),

- A grande semelhança de valores entre os vários corpos-de-prova em cada uma das 4 amostras estudadas,
- Valores semelhantes entre duas colunas diferentes (caso das velocidades máximas e médias dos corpos-de-prova 4, 5 e 6 da amostra 3),
- A diferença entre as médias das velocidades ultra-sônicas mais elevadas e as menores é da ordem de 40% (maior média 5730, menor média 3549 m/s).

As duas primeiras observações são fruto da heterogeneidade da pedra. As várias amostras foram coletadas em locais diferentes, mostrando assim, perfeitamente, que o estudo de uma rocha poliminerálica como estes granitos, deve ser feita de maneira completamente diferente do que o de uma rocha monominerálica (calcários de um modo geral).

Como as rochas possuem características que as fazem diferentes dos sólidos ideais, a propagação das ondas elásticas através delas é influenciada tanto pelas suas propriedades intrínsecas como pelas suas propriedades extrínsecas.

Sob este aspecto, DESSANDIER (1995) comenta que a velocidade de propagação dos ultrasons em materiais rochosos com baixa porosidade (caso dos granitos), é controlada pela velocidade intrínseca da propagação dos minerais constituintes. Porém em rochas que apresentam elevada porosidade (caso dos calcários) esta velocidade é condicionada pela propagação morfológica dos vazios.

TABELA 2 – Resultados das Velocidades Ultra-Sônicas V_p de todas as Amostras Ensaçadas

Amostra	Corpo-de-prova	Velocidades maiores (m/s)	Velocidades médias (m/s)	Velocidades menores (m/s)
1	1	5727	4815	4450
	2	5836	5362	4372
	3	5762	5254	4375
	4	5754	4894	4370
	5	5600	4842	4213
	6	5706	4762	4339
2	1	4950	4595	3870
	2	4779	4276	3754
	3	4848	4400	3933
	4	4875	4484	3786
	5	4861	4285	3633
	6	4993	4167	3729
3	1	5363	4762	4262
	2	5034	4636	3930
	3	5346	4515	3914
	4	5246	5147	4012
	5	5234	5070	4086
	6	5119	4954	3904
4	1	4734	4516	3755
	2	4454	4047	3391
	3	4542	3889	3501

Fatores intrínsecos à rocha tais como textura, estrutura, microfraturamento, distribuição e composição mineralógica, porosidade, densidade,

anisotropia e fatores extrínsecos tais como alteração (até mesmo incipiente), conteúdo em água, esforços tectônicos, crescimento de minerais secundários, situação geográfica da pedra (sopé ou topo de morro, lado virado para as chuvas e ventos, sem solo e vegetação ou lado protegido e com solo e vegetação, etc.), situação geográfica da frente de lavra (próximo da superfície ou profunda) são os responsáveis pelas anomalias indicadas. É totalmente impossível conceber que uma pedra mantenha exatamente as mesmas características tecnológicas em qualquer local da pedra.

A terceira observação é fruto da grande dificuldade que ocorre na identificação das faces, com maior, médio e menor concentração em máficos. A isotropia da rocha é, por vezes, tão acentuada que nem mesmo com o auxílio do microscópio é fácil determinar em qual das faces dos cubos se situa a maior concentração em máficos. Assim, esta dificuldade associada com a direção aleatória do corte do bloco de onde foi retirado o corpo-de-prova, torna por vezes impossível identificar em qual face do cubo estamos medindo a velocidade ultra-sônica.

TABELA 3 - Valores Médios e Desvio Padrão de todas as Amostras Ensaçadas

Amostra	Média valores máximos (m/s)	Desvio padrão	Média valores médios (m/s)	Desvio padrão	Média valores mínimos (m/s)	Desvio padrão
1	5730	78	4988	154	4353	78
2	4345	76	4368	156	3784	106
3	5224	128	4847	150	4018	138
4	4577	*	4151	*	3549	*
Média total	5179 m/s		4651 m/s		3980 m/s	
Desvio padrão	426 m/s		395 m/s		307 m/s	

* Poucos valores para o cálculo do desvio padrão

A última observação é a que nos levou a fazer este texto. A grande diferença entre os valores ultra-sônicos não pode ser explicada pelos caminhos normais. A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas é uma das propriedades que caracteriza os materiais pétreos e que depende sobretudo das propriedades elásticas e das densidades desses materiais.

Neste caso, atendendo a que os granitos da serra da Meruoca são, pelo menos aparentemente, comagmáticos, não há por que acreditar em propriedades elásticas ou em densidades muito diferentes.

Os valores das características técnicas de ambas as rochas mostram igualmente a grande semelhança entre os dois litótipos (Tabela 4).

TABELA 4 - Características Tecnológicas dos Granitos em Estudo

Propriedades Tecnológicas	Médias brasileiras*	Granito	
		Meruoca Clássico	Verde Ceará
Massa específica (g/cm ³)	2,550	2,601	2,615
Velocidade ultra-sônica (m/s)	≥ 4.000	5179 – 3980 **	5565
Porosidade aparente (%)	1,0	0,21	0,59
Absorção de água (%)	-	0,08	0,23
Desgaste Amsler (mm)	≤ 1,0	0,72	0,82
Resistência à compressão (Mpa)	≥ 100,0	116,70	134,0
Resistência à flexão (Mpa)	≥ 10	12,47	15,0

* Dados extraídos de Frazão & Farjalatt (1995)

** Faixa de variação deste trabalho

As características tecnológica dos dois granitos não permitem obter uma explicação para as grandes diferenças sônicas encontradas, pelo contrário, os restantes valores, bastante semelhantes, deveriam ser compatíveis com valores igualmente semelhantes para as propriedades sônicas dos dois granitos. A porosidade (0,59%) do granito Verde Ceará, superior à do granito Meruoca Clássico (0,21%) mostra uma maior quantidade de vazios onde o som se propaga mais lentamente (o inverso do observado), só uma ligeira diferença positiva na massa específica (2,615 versus 2,601) poderia propiciar velocidades superiores para o granito Verde Ceará, no entanto, a muito pequena diferença não poderia ser responsável pela grande anomalia encontrada.

Petrograficamente não foram verificadas diferentes percentuais de microfissuras quando da observação das diversas faces dos corpos-de-prova, deste modo, foi necessário, uma vez mais, recorrer à explicação já esboçada no início deste trabalho: as pequenas, e por vezes até mesmo insignificantes concentrações de minerais máficos, são as responsáveis pelo fato.

De acordo com BAUDRAN *in*: (AVELINE, et al. 1964) o conhecimento da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas permite, também, o cálculo de um índice de anisotropia da rocha, $IA_{(vp)}$, o qual é obtido através da equação seguinte:

$$IA(V_p) = \left[1 - \frac{V_{P(min)}}{V_{P(max)}} \right] \times 100 \quad (\%)$$

Em que $V_{P(min)}$ é a velocidade mínima das ondas P segundo uma direção e $V_{P(max)}$ é a velocidade máxima das ondas P na direção perpendicular.

No caso do granito Meruoca Clássico, usando os valores médios máximo (5179m/s) e mínimo (3980 m/s), vamos obter para o índice de anisotropia o valor de 23,15 % (quando isotropa este valor é zero), valor este muito elevado e que demonstra que realmente a rocha apresenta uma anisotropia unicamente explicável pelas pequenas concentrações de biotitas, anfíbios e opacos.

Conclui-se que as velocidades ultra-sônicas pode passar com a maioria dos outros parâmetros

inerentes a cada tipo comercial não totalmente isotropo vendido no mercado.

Sugere-se assim que, para estes litótipos não se apresente um único valor para cada característica tecnológica mas sim valores máximos e mínimos numa faixa de variação que represente as suas características em todas as direções.

BIBLIOGRAFIA

- AVELINE, M.; BRAUDAN, ^a; HABIB, P., ISNARD, PP.; LEYMARIE, P.; MOLIER, P. – *Résultats expérimentaux sur les relations entre la microfissuration et la vitesse de propagation des ultra-sons dans les granites du Sidobre (Tarn)*. Sciences de la Terre, Tome IX, N° 4. Nancy, França. 1964. P 439 – 448.
- DESSANDIER, D. – *Étude du milieu poreux et des propriétés de transfert des fluides du tuffeau Blanc de Tauraine. Application a la durabilité des pierres en ouvre*. Thèse présentée à l'Université de Tours pour obtenir le titre de Docteur de l'Université de Tours Sciences de la Terre, mention: Geomateriaux, 1995.
- MOUZA, J.; AISSAUOUI, A; PAVONE, D. – *Étude de diverses roches au laboratoire par ondes ultrasonores*. Bull. Of the Intern. Association of Engineering. N° 28, 133-139, Paris.
- FRAZÃO, E, B & FARJALLAT, J. E. S. – Seleção de pedras para revestimentos e prioridades requeridas. *Rochas de Qualidade*. N° 124, p.80 – 93. 1995.

PERDA DE LUSTRO EM ROCHAS ORNAMENTAIS DURANTE ABRASÃO PROGRESSIVA: PRINCIPAIS FATORES CONDICIONANTES

Antonio Carlos ARTUR¹, Eberhard WERNICK¹, Eleno de Paula RODRIGUES², Renato Meira ANDRIGHETTI³, Paulo Henrique Gulelmo de SOUZA⁴

¹Depto de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
Av. 24A, 1515 – Bairro Bela Vista, 13506-900, Rio Claro, SP.

Fone (19) 526.2824, Fax (19) 524.9644, E-mail: acartur@rc.unesp.br

²Escola SENAI Mário Amato, Faculdade de Tecnologia Ambiental

Av. José Odorizi, 1555 Bairro Assunção. 09861-000, São Bernardo do Campo, SP

Fone (11) 4109.9499, Fax (11) 4351.6985, E-mail: granito116@sp.senai.br

³Bolsista FAPESP

Depto de Petrologia e Metalogenia/IGCE/UNESP, Caixa Postal 178 - 13506-900, Rio Claro, SP.

Fone (19) 526.2824, Fax (19) 524.9644.

⁴Aluno Curso de Graduação em Geologia - UNESP

Depto de Petrologia e Metalogenia/IGCE/UNESP, Caixa Postal 178 - 13506-900, Rio Claro, SP.

Fone (19) 526.2824, Fax (19) 524.9644.

RESUMO

A quantificação da resistência à abrasão superficial de cerâmicas esmaltadas é descrita na norma NBR 13818 – Anexo D (ABNT, 1997) e denominada de método PEI, desenvolvido pelo Porcelain Enamel Institute, USA. O crescente desgaste das superfícies cerâmicas é acompanhado por uma progressiva perda do seu lustro.

A metodologia PEI, largamente utilizada em revestimentos cerâmicos, foi aplicada em 18 rochas (magmáticas, metamórficas e migmatíticas) polidas visando, com isso, a avaliação dos principais fatores que condicionam a resistência da perda de lustro inicial dessas rochas quando da sua utilização como materiais de revestimento em edificações. Os ensaios de abrasão foram executados num abrasímetro durante 50, 100, 150, 300, 450 e 600 ciclos, segundo a metodologia PEI, no Laboratório de Ensaios Cerâmicos do Sindicato de Ceramistas de Santa Gertrudes, SP. A perda de lustro, após cada ensaio, foi determinada através de um *Gloss Meter*, marca Horiba, modelo IG-310, e na caixa de luz padrão. Cada um dos três grupos de rochas ensaiadas continha variedades com composição mineralógica qualitativa e quantitativa e/ou granulação absoluta e relativa, e/ou cores, e/ou graus de alteração, e/ou intensidade das estruturas paralelas nitidamente distintas o que permitiu a análise da importância relativa de cada um destes fatores.

Os resultados mostraram que rochas portadoras de quartzo mantêm por mais tempo seu lustro que rochas sem quartzo; que as rochas com grandes cristais de quartzo perdem mais lentamente o lustro que rochas com textura equigranulares ou quartzo intersticial. Rochas equigranulares com quartzo mantêm o lustro melhor que as com megacristais de feldspatos. Rochas frescas mantêm mais o seu lustro quando comparadas com equivalentes levemente intemperizadas. Nas rochas com ou sem quartzo, a perda do lustro é mais lenta nas rochas claras que nas escuras e entre os mármores, os dolomíticos perdem seu lustro mais lentamente que os calcíticos. Gnaisses com teores de quartzo semelhantes aos de rochas magmáticas apresentam perda de lustro comparável.

Os resultados obtidos enfatizam claramente a importância dos ensaios realizados na definição da utilização ótima de diferentes rochas ornamentais e ressaltam a necessidade de sua caracterização petrográfica detalhada.

INTRODUÇÃO

A perda de lustro de cerâmicas com camada esmaltada e rochas ornamentais polidas é função, principalmente, de dois fatores: abrasão e corrosão/dissolução por agentes químicos. O ataque químico é particularmente intenso em revestimentos de áreas de uso específico de residências (cozinhas, banheiros, lavanderias) e em revestimentos expostos parcialmente ou totalmente a meios ambientes agressivos, tais como locais com forte poluição aérea que se reflete, entre outros, em chuvas ácidas ou ambientes de orlas marítimas caracterizados pela maresia. Já a perda do lustro por abrasão é devida principalmente ao desgaste da superfície do revestimento por atrito pelo trânsito humano e de veículos, limpeza com ferramentas de alta dureza (por exemplo escovas e palhas de aço), jatos de água pressurizada, etc.

A perda progressiva do lustro de uma superfície de revestimento inicialmente refletora confere à mesma um aspecto de sujeira irremovível, escurece o ambiente de sua aplicação pela diminuição da luz refletida (isto é, aumento da porcentagem de luz absorvida no total da luz incidente) e gera uma percepção emocional de desgaste, desleixo, sujeira e desarmonia. Este é o caso, por exemplo, do contraste entre reluzentes lojas de grifes situadas em centros comerciais cujos pisos ostentam aspecto encardido pela perda do lustro do revestimento do piso por intenso tráfego humano.

Há longa data existe a percepção empírica que a sensação visual da perda do lustro pode ser retardada quer pela utilização de revestimentos com certos padrões de movimento e cores específicas com destaques para movimentos irregulares e cores claras sem que existam, entretanto, estudos de ensaios comparativos em larga escala. A realização destes estudos comparativos esbarra em uma série

de dificuldades, tais como: a diferença dos ensaios de abrasão a que são submetidos pisos cerâmicos esmaltados, porcelanatos e rochas ornamentais; a melhoria acelerada das características físicas da camada esmaltada dos pisos cerâmicos; o lançamento acelerado no mercado de revestimentos com novas cores e novos padrões movimentados; a falta de homogeneidade de cor nas rochas ornamentais; a utilização crescente de revestimentos com superfícies com características muito variadas, de muito a pouco refletoras (superfícies polidas e semi-polidas) a rústicas (muito pouco refletoras). Em outros casos o efeito refletor é obtido pela aplicação, pós-assentamento, de uma camada de resinas com características físicas distintas das superfícies esmaltadas queimadas das cerâmicas. É o caso típico de ardósias com aplicação de uma camada de resina tipo *sinteco*.

Em cerâmicas revestidas a determinação de sua dureza (resistência ao risco, um dos vários tipos de escarificação que os revestimentos podem sofrer) e à abrasão é acompanhada, paralelamente, pela determinação da perda do lustro da camada esmaltada, quer por determinações absolutas (reflexão medida via *Gloss Meter*) quer relativas (avaliação visual). A realização conjunta destas duas metodologias é necessária já que o valor absoluto do poder de reflexão de um revestimento não pode ser correlacionado diretamente com a percepção visual da perda de lustro que depende de numerosos fatores previamente mencionados e aos quais devem ser acrescidos a dimensão da área revestida e a intensidade, homogeneidade e tipo (direta ou indireta) da luz incidente, a combinação cromática com objetos sobrepostos (móveis, tapetes, quadros, etc.) e a natureza e a cor do revestimento de áreas adjacentes. No que tange ao padrão movimentado do revestimento cabe destacar que o mesmo pode ser de dois tipos: primário, quando intrínseco ao material de revestimento ou, secundário, quando resultar da combinação de revestimentos de natureza distinta sob forma de mosaico ou de um mesmo tipo de revestimento retangular assentado segundo direções perpendiculares ou, ainda, pela utilização de peças de revestimento com diferentes dimensões.

Nas rochas ornamentais a determinação de sua resistência à abrasão é efetuada pelo método Amsler (norma NBR 12042, ABNT 1992), durante o qual uma espessura substancial do corpo-de-prova é desgastado, o que impede a determinação, em paralelo, da perda progressiva do lustro da superfície originalmente polida.

No presente trabalho os autores apresentam resultados da perda de lustro de 18 diferentes tipos de rochas ornamentais polidas, aplicando às mesmas a mesma metodologia utilizada em cerâmicas revestidas. Os resultados são descritos à luz da composição, textura, movimentação e cor das rochas testadas e resultam em conclusões que foram transformadas em recomendações sobre a escolha correta de rochas ornamentais polidas, quando um dos objetivos do revestimento é a manutenção prolongada do seu lustro.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados 18 diferentes tipos de rochas ornamentais polidas e tradicionalmente utilizadas como materiais de revestimento, sendo 10 granitos, 3 sienitos, 2 gabros e 3 mármore, selecionados e fornecidos pela EMIGRAN Pisos e Revestimentos em Granitos, com sede na cidade de São João da Boa Vista, SP. Este conjunto de rochas incluiu variedades com cores cinza (2 amostras), avermelhadas (2), amareladas (5), castanhas (3), pretas (2), verdes (2) e branca (1).

Como no setor de rochas ornamentais o termo granito tem uma aplicação muito ampla, incluindo rochas magmáticas e metamórficas silicatadas, com ou sem quartzo, a utilização dos termos sienitos e gabros ao lado dos granitos visou ressaltar o papel do quartzo, do feldspato e dos minerais máficos nos processos de abrasão. Por outro lado, o grupo dos granitos inclui desde rochas homogêneas, porfíricas a equigranulares, migmatitos e ortognaisses, todos portadores de quartzo, para permitir a avaliação da influência da estrutura (movimento ou desenho na nomenclatura comercial) no processo de desgaste de rochas quartzo-feldspáticas. Igual objetivo foi perseguido nos sienitos com a escolha de rochas com estrutura fluidal variando entre muito intensa a fraca e nos mármore com a escolha de amostras maciças calcíticas e dolomíticas, além de um mármore travertino com estrutura brechóide muito porosa e impregnada com resina. Quanto aos gabros, ambos homogêneos, optou-se por duas amostras com diferentes granulações. Para ressaltar melhor o papel da granulação no processo de desgaste rochoso foram escolhidas duas amostras composicionalmente similares representadas por biotita gabronoríticos. Quanto à alteração foi dada ênfase a rochas sãs, ressaltando-se que a cor amarela de granitos resulta predominantemente de processos mais ou menos intensos de alteração intempélica e/ou hidrotermal.

Os Quadros 1a,b, oferece as principais feições das rochas ensaiadas incluindo nome comercial, classificação petrográfica, composição mineralógica volumétrica (moda), textura, estrutura e grau de alteração. A importância de várias destas feições na resistência das rochas à abrasão foi discutida por Artur et al. (2001). A descrição petrográfica foi executado segundo a norma NBR 12768 (ABNT, 1992a) complementadas por sugestões apresentadas por Rodrigues et al. (1996; 1997) e Artur et al. (2001).

A determinação da resistência à abrasão superficial (metodologia PEI – Porcelain Enamel Institute, USA) foi executada no Laboratório de Ensaio Cerâmicos do Sindicato dos Ceramistas de Santa Gertrudes, SP, segundo a norma NBR 13818 – Anexo D (ABNT, 1997). O ensaio foi executado em abrasímetro em seis etapas, respectivamente, com 50, 100, 150, 300, 450 e 600 ciclos de abrasão. A perda de lustro, após cada etapa, foi determinada para todas as rochas ensaiadas segundo duas metodologias: 1) perda de lustro absoluto, determinada pela medição da luz refletida sobre a

Quadro 1a: Síntese Petrográfica das Rochas Estudadas

Mineralogia (%)	Rochas Quartzo-feldspáticas (Granitos)										
	Verde Candeias	Juparaná Palha	Marrom Cachoeira	Vermelho Salmão	Prata Interlagos	Cinza Mauá	Amarelo Ornamental	Lilas Gerais	Amarelo Amêndoa Clássico	Verde Labrador	
Quartzo	32,0	32,7	20,8	30,7	33,4	26,0	27,2	32,8	25,7	27,7	
Plagioclásio	46,5	14,3	35,2	18,2	32,6	27,5	19,4	24,1	31,4	18,0	
Microclínio	15,9	44,3	37,6	47,2	22,1	30,8	43,0	35,8	34,0	33,3	
Biotita	2,5	3,9	1,9	3,0	9,0	12,3	5,9	5,4	7,0	8,3	
Hornblenda	1,6	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-	
Piroxênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7	
Granada	-	2,3	-	-	-	-	3,5	-	-	-	
Muscovita	-	1,3	-	-	1,3	-	-	-	-	-	
Sillimanita	-	0,4	-	-	-	-	0,2	-	0,6	-	
Opacos	0,4	Tr	0,6	0,3	0,3	1,6	0,3	0,5	tr	0,6	
Apatita/titanita/zircão	tr	Tr	tr	Tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,3	
Sericita/Epidoto/Clorita/Carbon./Argilo-minerais	1,1	0,8	0,9	0,6	1,3	1,8	0,5	1,4	1,3	1,1	
Granulação (mm)	Varição	0,3 a 4,0	0,3 a 3,5	0,2 a 3,0	0,3 a 5,0	0,2 a 3,0	-	0,2 a 2,5	0,3 a 3,0	0,3 a 15,0	-
	Predominância	1,0 a 3,0	1,5 a 2,5	1,5 a 2,5	1,5 a 3,0	1,5 a 2,5	-	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1,5 a 6,0-	-
	Matriz	-	-	-	-	-	0,2 a 3,0	-	-	-	0,3 a 4,0
	Fenocristal	-	-	-	-	-	15,0 a 20,0	-	-	-	15,0 a 25,0
Classificação (QAP)	Gnaiss granodiorítico	Sill.-granada sienogranito	Gnaiss monzogranítico	Biotita sienogranito	Biotita monzogranito	Biotita monzogranito	Sill.-granada sienogranito	Biotita gnaiss monzogranítico	Biotita monzogranito	Charnockito	
Cor da Rocha	Verde	Amarelada Claro	Marrom	Vermelho	Cinza Claro	Cinza	Amarela	Lilás	Amarelo claro	Verde	
Estrutura	foliada	foliada	foliada	discretamente foliada	maciça	maciça	mediamente foliada	mediamente foliada	maciça	protomilonítica	
Textura	equigranular	inequigranular	inequigranular	inequigranular	equigranular	porfírica	inequigranular	equigranular	inequigranular	porfírica	
Grau de Alteração	Microclínio	alto a moderado	incipiente	moderado	moderado	incipiente a moderado	moderado	moderado	moderado	moderada	incipiente
	Plagioclásio	alto a moderado	incipiente a moderado	moderado a alto	moderado a alto	alto	alto	moderado	alto a moderado	moderada	incipiente a moderado
	Biotita	alto	incipiente	moderado	moderado	alto	incipiente	incipiente	alto	moderada	moderado
	Hornblenda	alto	--	moderado	--	--	--	--	--	--	--

Quadro 1b (continuação): Síntese Petrográfica das Rochas Estudadas

Mineralogia (%)		Rochas Feldspáticas (Gabros e Sienitos) e Carbonáticas (Mármore)							
		Marrom Caldas	Café Imperial	Marrom Rubi	Preto Aracruz	Preto Total	Branco Cintilante	Bottitino	Travertino
Quartzo		0,9	-	-	-	-	-	-	1,5
Feldspato Potássico		69,8	77,0	79,1	-	-	-	-	-
Plagioclásio		4,1	1,9	9,1	55,7	50,5	-	-	-
Biotita		4,9	3,6	2,3	13,5	19,5	-	-	-
Hornblenda		6,3	-	0,9	-	-	-	-	-
Piroxênio		7,5	12,4	4,7	21,3	25,0	-	-	-
Opacos		3,1	1,1	2,6	8,5	5,0	-	-	-
Apatita/titanita/zircão		2,7	3,4	0,9	0,3	tr	-	-	-
Calcita		-	-	-	-	-	95,0	4,0	98,5
Dolomita		-	-	-	-	-	5,0	96,0	-
Sericita/epidoto/clorita/ carbonatos/argilo-minerais		0,7	0,6	0,4	0,7	tr	-	-	-
Granulação (mm)	Varição	0,2 a 9,0	0,3 a 25,0	0,2 a 2,0	0,2 a 2,5	0,2 a 2,0	0,1 a 2,5	microgranular	01, a 0,8
	Predominância	3,0 a 5,0	2,0 a 9,0	0,5 a 1,0	1,0 a 2,0	0,5 a 1,2	1,0 a 2,0	microgranular	0,3 a 0,5
Classificação (QAP)		Álcali sienito	Álcali sienito	Sienito	Biotita gabronorito	Biotita gabronorito	Dolomita mármore	Calcita mármore	Mármore travertino
Cor da Rocha		Marrom	Marrom Escuro	Marrom Claro	Preta	Preta	Branco	Bege	Bege
Estrutura		fluidal	Fluidal	Discretamente foliada	maciça	maciça	maciça	maciça	brechóide
Textura		inequigranular	inequigranular	equigranular	equigranular	equigranular	equigranular	equigranular	equigranular
Grau de Alteração	Microclínio	moderada a incipiente	moderado a incipiente	alta	--	--	--	--	--
	Plagioclásio	incipiente	ausente	incipiente	incipiente	incipiente	--	--	--
	Biotita	incipiente	moderado	incipiente	moderado	incipiente	--	--	--
	Piroxênio	moderada	moderado	incipiente a moderado	moderado	moderado	--	--	--
	Hornblenda	ausente	--	ausente	--	--	--	--	--

superfície ensaiada através de *Gloss Meter* - marca Horiba, modelo IG 310; 2) perda de lustro visual, através da avaliação da perda do lustro das superfícies abrasadas utilizando-se caixa de luz padrão da metodologia PEI.

RESULTADOS, ANÁLISES E INTERPRETAÇÃO

Abrasão e Perda de Lustro

O Quadro 2 contém os resultados da perda absoluta do lustro de rochas ornamentais polidas submetidas a 50, 100, 150, 300 e 450 ciclos de desgastes. As 10 primeiras correspondem a granitos, isto é, rochas ricas em feldspatos e quartzo. As 5 seguintes correspondem a rochas feldspáticas, sendo as 3 primeiras pobres em minerais máficos (sienitos) e as 2 últimas ricas neste tipo de minerais (gabros). Finalmente as 3 últimas são mármore calcícticos ou dolomíticos.

Para cada ensaio constam para todas as rochas três tipos de informações (Quadro 2):

- o primeiro refere-se ao lustro medido das amostras após cada ciclo de abrasão via *Gloss Meter*;
- o segundo refere-se à manutenção percentual do lustro inicial da rocha expressa pela relação: $(\text{Lustro após o ensaio de desgaste por abrasão sob variados ciclos} = L_{50}, L_{100}, L_{150}, L_{300}, L_{450}) / (\text{Lustro inicial} = Li) \times 100$. Esta fórmula independe do valor medido do lustro inicial que não foi o mesmo para todas as amostras, variando entre 75 (Amarelo Ornamental) e 85 (Marrom Cachoeira, Vermelho Salão e Marrom Caldas);
- o último refere-se à constatação ou não da perda do lustro inicial por avaliação segundo o método PEI (NBR 13818 – Anexo D; ABNT 1997). O segundo e terceiro tipos de dados estão visualizado nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tanto no Quadro 2 como nas Figuras 1 e 2 a seqüência das amostras em cada um dos 3 grupos de rochas segue uma ordem decrescente de manutenção do lustro inicial após 450 ciclos de abrasão $[(L_{450}/Li) 100]$, já que após 600 ciclos de abrasão (L_{600}) todas as amostras analisadas mostraram perda de lustro pelo método PEI.

Do Quadro 2 e das Figuras 1 e 2 emergem as seguintes constatações principais:

1. Após 450 ciclos de abrasão os granitos, com exceção do Verde Labrador, apresentam manutenção do lustro inicial $(L_{450}/Li)100$ semelhantes, variando de 30,9% para o Verde Candeias e 25,3% para o Amarelo Amêndoa Clássico, ou seja, foi perdido respectivamente para estas rochas 69,1% e 74,7% do lustro inicial medido;
2. Os sienitos Marrom Caldas e Café Imperial mantiveram 23,5 e 22,5% do lustro inicial após abrasão de 450 ciclos, valores estes bastante próximos ao do granito Amarelo Amêndoa Clássico (25,3%);

3. O sienito Marrom Rubi e os gabros Preto Aracruz e Preto Total mantiveram entre 18,8 e 17,9% do lustro inicial medido e junto com o granito Verde Labrador constitui um grupo de rochas nas quais o lustro mantido após 450 ciclos de abrasão foi menor que 20% do lustro inicial medido;

4. Finalmente todo o grupo de rochas carbonáticas, que inclui tanto mármore calcícticos quanto dolomíticos, perderam totalmente o lustro inicial medido após 450 ciclos de abrasão;

5. A constatação do início da perda visual do lustro pela metodologia PEI com a progressiva abrasão (Figura 2), variou nos quatro grupos de rochas considerados. Entre os granitos a constatação visual da perda de lustro iniciou-se após 300 ciclos de abrasão (Verde Candeias e Verde Labrador), enquanto no Prata Interlagos e Cinza Mauá o mesmo fenômeno foi constatado apenas após 600 ciclos de abrasão. Os sienitos tiveram constatação visual de perda de lustro entre 300 (Marrom Caldas e Café Imperial) e 450 ciclos de abrasão (Marrom Rubi). Todos os gabros tiveram perda de lustro constatado visualmente após 300 ciclos de abrasão e os mármore apresentaram esta feição após 150 ciclos de abrasão. Estes dados revelam:

- a) que os mármore são as rochas que mais rapidamente perdem seu lustro;
- b) que em granitos, sienitos e gabros, rochas de composição bem distinta, a constatação visual da perda do lustro pode iniciar-se após idêntica abrasão (300 ciclos);
- c) as rochas que mais mantém seu lustro sob condições de progressiva abrasão são certos tipos de granitos (Cinza Mauá e Prata Interlagos);
- d) o fato que num mesmo grupo de rochas, por exemplo os granitos, a constatação visual do início da perda do lustro variou entre 300 e 450 ciclos, indica que a mesma designação litológica para diferentes rochas ornamentais não implica que todas as variedades apresentem a mesma resistência à perda do lustro por abrasão progressiva. Isto implica que além da simples composição mineralógica existem outros fatores que condicionam a perda mais ou menos rápida do lustro das rochas ornamentais;
- e) A Figura 1 indica que nos três grupos de rochas silicatadas (granitos, sienitos e gabros) a porcentagem de lustro mantido decresce igualmente após 50, 100 e 150 ciclos de abrasão, como indicado pelas 3 curvas paralelas a sub-paralelas para as 15 amostras iniciais. Ao mesmo tempo a porcentagem de lustro mantido dos mármore decresce de forma significativa, principalmente no intervalo entre 50 e 100 ciclos de abrasão. Após 300 ciclos de abrasão a porcentagem do lustro mantido tende a homogeneizar-se para os diferentes grupos litológicos e já torna patente que a porcentagem de manutenção do lustro inicial diminui segundo a seqüência granitos - sienitos - gabros - mármore. Esta constatação acentua-se após 450 ciclos de abrasão, com a marcante exceção do Verde Labrador, um granito

Quadro 2 - Capacidade de manutenção do lustro inicial medido (absoluto e relativo) e constatação visual do início da perda de lustro em diferentes rochas ornamentais

Denominação Comercial		Classificação Petrográfica																		
		Verde Candeias Biotita gnaisse tonalítico	Juparaná Palha Sill-granada sienogranito	Marrom Cachoeira Biot.gnaisse monzogranítico	Vermelho Salmão Biotita monzogranito	Prata Interlagos Biotita monzogranito	Cinza Mauá Biotita monzogranito	Amarelo Ornamental Sill-granada sienogranito	Lilas Gerais Biot. gn monzogranítico	Amarelo Amêndoa Clássico Biotita monzogranito	Verde Labrador Charnockito Protomilonítico	Marrom Caldas Sienito	Café Imperial Sienito	Marrom Rubi Sienito	Preto Aracruz Biotita gabronorito	Preto Total Biotita gabronorito	Branco Cintilante Mármore dolomítico	Mármore Bottino Mármore Calcítico	Mármore Travertino Mármore calcítico brechóide	
NÚMERO DE CICLOS	Lustro Inicial (Li)	81	80	85	85	82	77	75	83	79	78	85	80	80	80	78	84	83	81	
	50	Lustro medido (L ₅₀)	72	72	82	80	75	60	65	77	68	65	77	76	73	67	62	71	65	64
		(L ₅₀ /Li) 100	88,9	90,0	96,5	94,1	91,5	77,9	86,7	92,8	86,1	83,3	90,6	95,0	91,3	83,8	79,5	84,5	78,3	79,0
		Perda Lustro Visual (PEI)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
	100	Lustro medido (L ₁₀₀)	62	65	71	68	65	52	56	68	57	56	69	62	63	57	54	51	36	34
		(L ₁₀₀ /Li) 100	76,5	81,3	83,5	80,0	79,3	67,5	74,7	81,9	72,2	71,8	81,2	77,5	78,8	71,3	69,2	60,7	43,4	42,0
		Perda Lustro Visual (PEI)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
	150	Lustro medido (L ₁₅₀)	52	56	60	60	56	47	48	58	58,48	49	58	50	50	48	42	30	20	17
		(L ₁₅₀ /Li) 100	64,2	70,0	70,6	70,6	68,3	61,0	64,0	69,9	60,8	62,8	68,2	62,5	62,5	60,0	53,8	35,7	24,1	21,0
		Perda Lustro Visual (PEI)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	s	s	s
	300	Lustro medido (L ₃₀₀)	38	40	40	40	41	36	37	39	31	35	36	30	32	30	25	6	5	1
		(L ₃₀₀ /Li) 100	46,9	50,0	47,1	47,1	50,0	48,8	49,3	47,0	39,2	44,9	42,4	37,5	40,0	37,5	32,1	7,1	6,0	1,2
		Perda Lustro Visual (PEI)	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n	s	s	s	n	s	s	-	-
	450	Lustro medido (L ₄₅₀)	25	24	25	25	23	21	20	22	20	10	20	18	15	15	14	0	0	0
		(L ₄₅₀ /Li) 100	30,9	30,0	29,4	29,4	28,1	27,3	26,7	26,5	25,3	12,8	23,5	22,5	18,8	18,8	17,9	0	0	0
		Perda Lustro Visual (PEI)	-	s	s	s	n	n	s	s	s	-	-	-	-	s	-	-	-	-
600	Perda Lustro Visual (PEI)	-	-	-	-	s	s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: n – perda de lustro não constatado segundo metodologia PEI; s - perda de lustro constatado segundo metodologia PEI

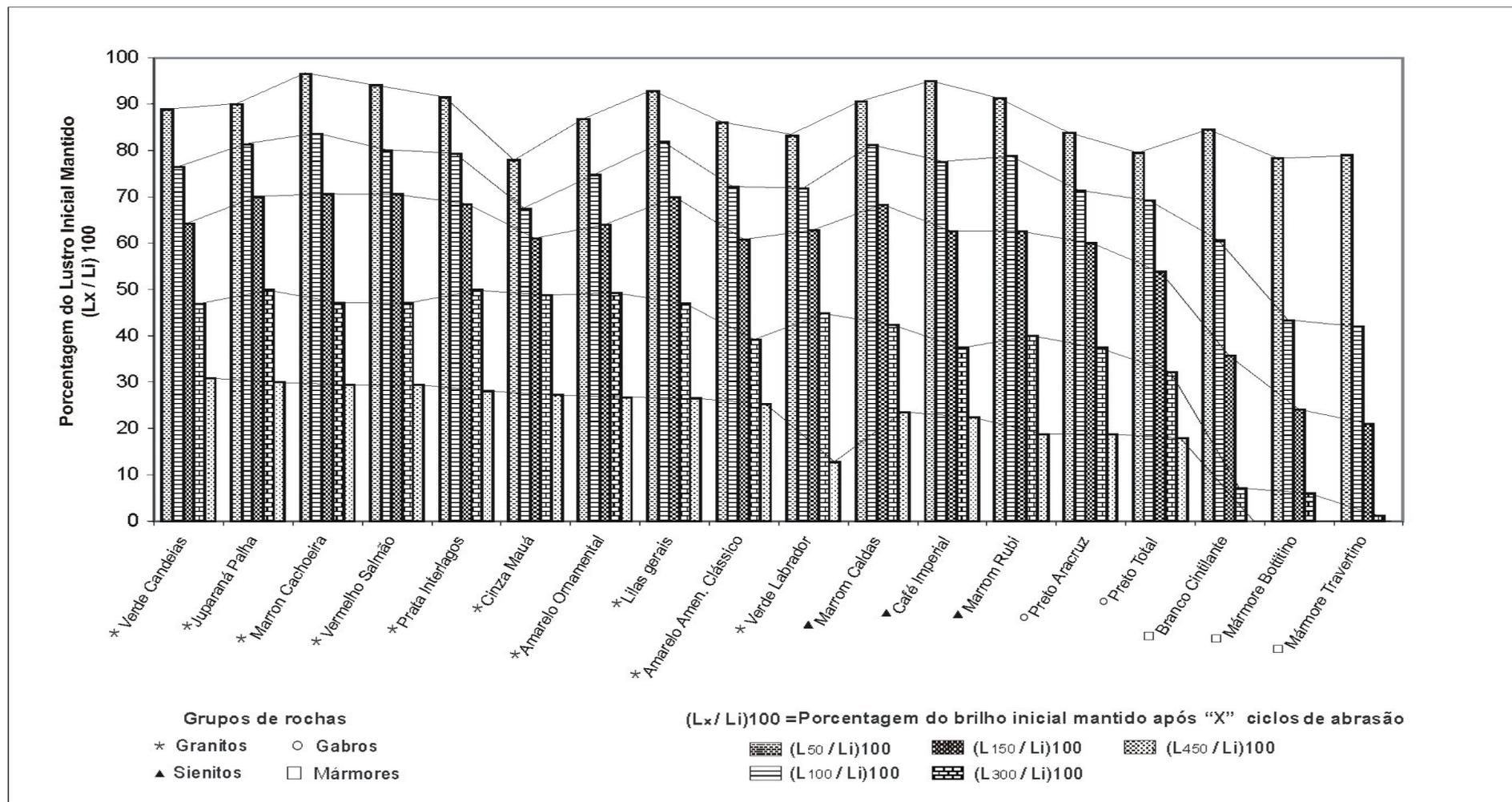


Figura 1- Porcentagem do lustro inicial mantido nos diferentes grupos de rochas ornamentais estudadas após abrasão progressiva segundo a metodologia PEI

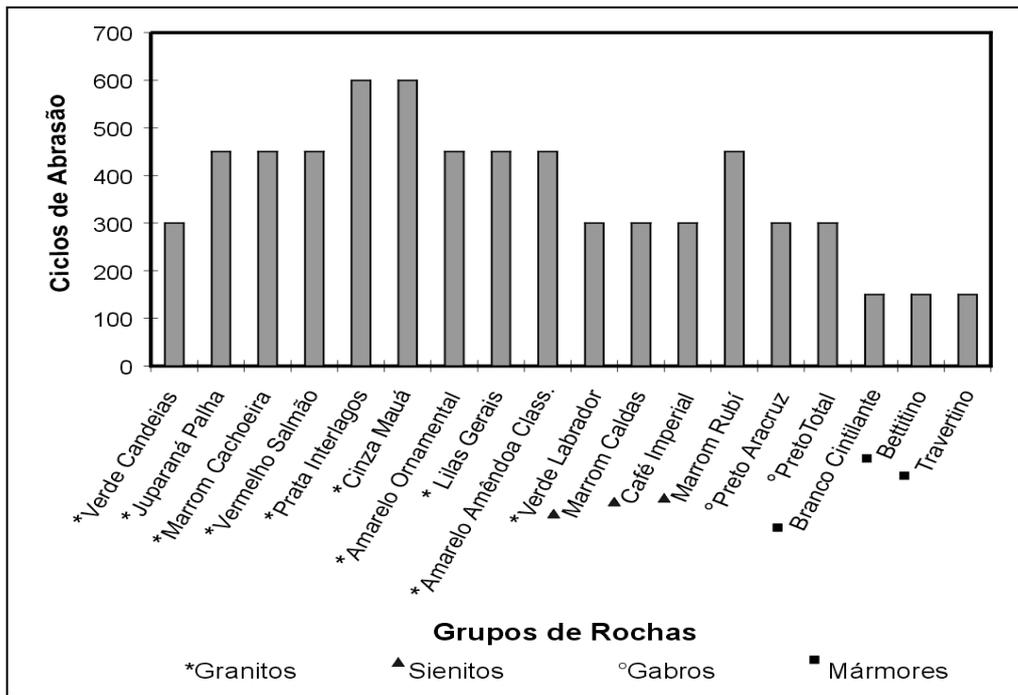


Figura 2 - Histograma no qual o limite superior das colunas corresponde ao início da perda do lustro por estimativa visual em rochas submetidas à abrasão progressiva segundo a metodologia PEI.

com capacidade de manutenção do lustro inicial inferior a dos sienitos e gabros submetidos à igual abrasão.

Fatores que Controlam a Perda do Lustro das Rochas Ornamentais

O poder de manutenção do lustro original de rochas ornamentais depende de uma série de fatores, entre os quais cabe destacar:

Composição mineral. A Figura 1 mostra que após 450 ciclos de abrasão fica patente que um dos principais fatores de manutenção do lustro deve-se à composição da rocha. Granitos são compostos principalmente por quartzo e feldspatos, respectivamente com dureza 7 e 6 na escala de Mohs. Os sienitos são rochas essencialmente feldspáticas, o que explica a sua manutenção do lustro inicial semelhante ao dos granitos após 450 ciclos. Já os gabros são rochas ricas em feldspatos (plagioclásios) e minerais máficos, o primeiro com dureza 6 na escala de Mohs e os segundos com dureza entre 3 e 6, de acordo com os tipos de minerais máficos presentes na rocha (biotita, anfibólio, piroxênio, olivina). Isto explica a sua capacidade de manutenção do lustro inicial igual ou algo inferior a dos sienitos (comparar Marrom Rubi, Preto Aracruz e Preto Total). Já os mármore são compostos por carbonatos, minerais com dureza 3 para a calcita e 4 para a dolomita na escala de Mohs. Esta baixa dureza indica pouca resistência à abrasão, com a conseqüente rápida remoção da superfície original polida;

Teor de Quartzo. O grupo dos granitos, como um todo, é o grupo de rochas ornamentais com maior capacidade de manutenção do lustro original pela

presença do quartzo, mineral de elevada dureza. Entretanto, a Figura 3 não permite estabelecer diretamente uma relação entre a capacidade de manutenção do lustro original e o teor de quartzo da rocha. Esta figura indica que para o Verde Candeias, Juparaná Palha, Lilas Gerais e Prata Interlagos, todos granitos com aproximadamente iguais teores de quartzo, a constatação visual da perda de lustro segundo a metodologia PEI ocorreu após 300 ciclos de abrasão para o primeiro, após 450 ciclos de abrasão para o segundo e o terceiro e apenas após 600 ciclos de abrasão para o último tipo de granito acima mencionados (Figura 4). Isto indica claramente que não é o teor absoluto de quartzo contido num granito o fato único que controla a capacidade de manutenção do lustro entre os granitos.

Dimensões do Quartzo. A Figura 3 relaciona a capacidade de manutenção do lustro de granitos, não só em função do seu teor de quartzo, já previamente discutido, mas também com as dimensões médias deste mineral. Nota-se que após 450 ciclos de abrasão a maior taxa de manutenção do lustro inicial ocorre em granitos com elevados teores de quartzo (acima de 30%) e nos quais o quartzo tem uma granulação dominante de 3,5 mm (Verde Candeias). Já, o com menor taxa de manutenção do lustro inicial foi o granito Verde Labrador caracterizado por teor de quartzo inferior a 30% e com cristais de quartzo de dimensões reduzidas, da ordem de 0,8 mm. Enquanto que no primeiro caso o quartzo representa grandes e freqüentes pontos de resistência na trama feldspática menos dura, no segundo caso o quartzo representa pequenos e menos freqüentes pontos de resistência na matriz feldspática.

Em termos de uma imagem comparativa o Verde Candeias representaria uma broca de vidia no

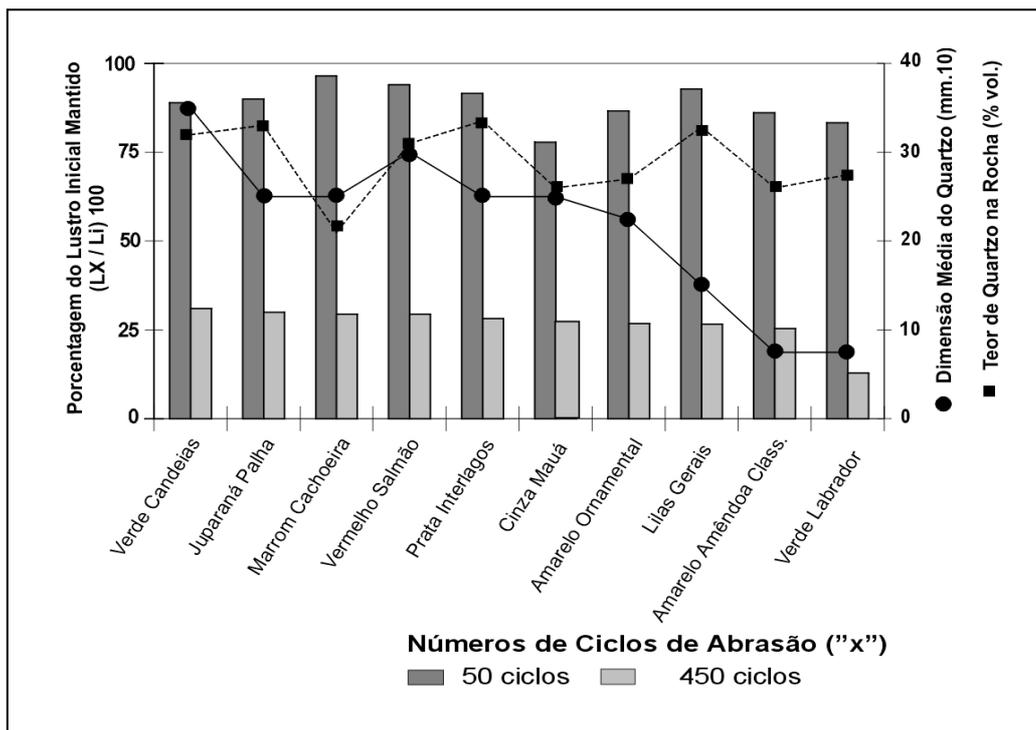


Figura 3 – Porcentagem do lustro inicial mantido, teor de quartzo e dimensão média do quartzo em diferentes tipos de granitos estudados após 50 e 450 ciclos de abrasão, segundo a metodologia PEI.

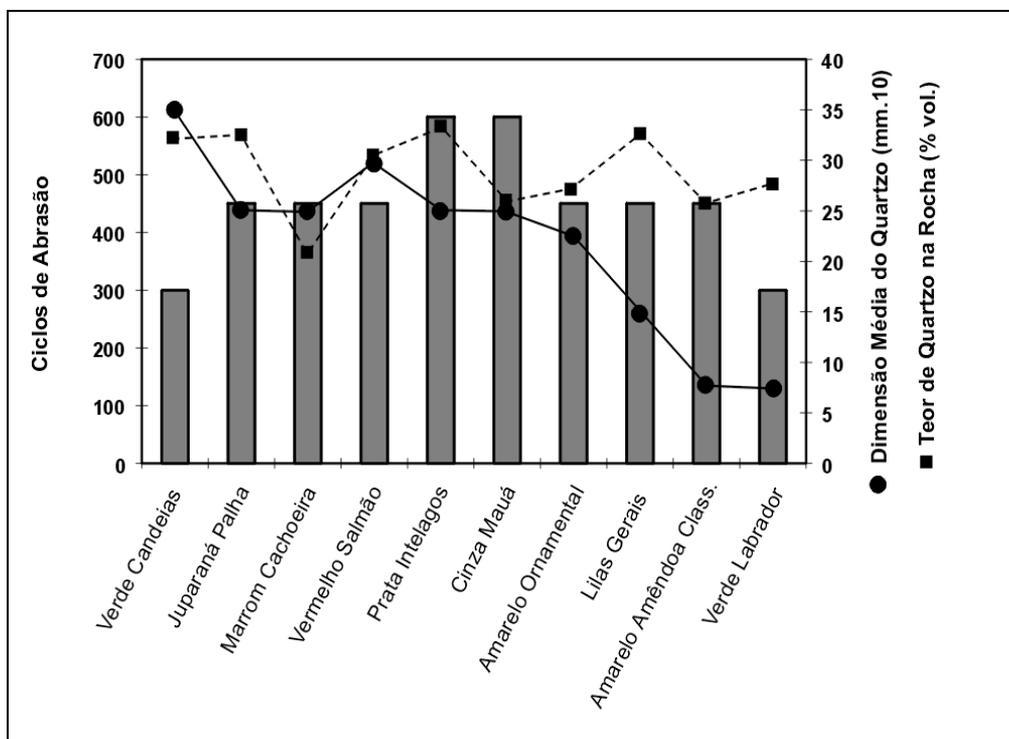


Figura 4 – Perda de lustro inicial por estimativa visual, teor de quartzo e dimensão média do quartzo em diferentes tipos de granitos submetidos a abrasão progressiva segundo a metodologia PEI. O limite superior de cada coluna indica o início da perda do lustro inicial e expressa em ciclos de abrasão aplicados à rocha ensaiada.

qual estão incrustados grandes e numerosos grãos com elevada dureza (diamantes) e o Verde Labrador uma broca sinterizada de vídria com diamantes de menor granulometria. Mostra a experiência que o segundo tipo de broca apresenta maior desgaste durante sondagens rotativas que o primeiro tipo. A Figura 3 mostra, por outro lado, que a combinação de elevados teores de quartzo de grande granulação não revela sua maior potencialidade de manutenção do lustro inicial se a abrasão for apenas incipiente, por exemplo de 50 ciclos.

Se a combinação do teor de quartzo e as dimensões médias deste mineral explica bem a variável capacidade de manutenção do lustro inicial de diferentes granitos, esta característica não se reflete claramente na constatação visual do início de perda de brilho pela metodologia PEI (Figura 4).

Um caso típico desta discrepância é o Verde Candeias que apesar de apresentar entre todos os granitos ensaiados a maior capacidade de manutenção de lustro inicial, apresenta constatação visual de perda de brilho já após 300 ciclos de abrasão e apresenta, sob este aspecto, características idênticas ao Verde Labrador, o granito com menor capacidade de manutenção do lustro inicial medido.

Movimentação da Rocha. No caso dos granitos, sienitos e mármore foram estudadas rochas com variada movimentação e/ou estruturas, e que comercialmente são reduzidas apenas à expressão rocha com e sem movimentação. Entre os granitos destaca-se o Verde Candeias com estruturas irregulares migmatíticas difusas (movimentação nebulítica) a gnáissica (movimentação paralela). Já os granitos Juparaná Palha, Amarelo Ornamental, Lilas Gerais e Verde Labrador apresentam gnaissificação mais ou menos patente o que implica numa foliação metamórfica paralela mais ou menos desenvolvida. Finalmente, o Vermelho Salmão, Prata Interlagos, Amarelo Amêndoa Clássico e Cinza Mauá são granitos propriamente ditos e praticamente homogêneos (rochas não movimentadas).

Entre os sienitos, os três tipos testados tem estruturas fluidais cuja intensidade diminui segundo a seqüência Café Imperial – Marrom Caldas – Marrom Rubi, este também com granulação mais fina, o que implica em decrescente movimentação paralela. Os gabros Preto Aracruz e Preto Total são homogêneos e granulação média/fina. Os mármore Branco Cintilante e Bettitino também são homogêneos, sendo o primeiro dolomítico e o segundo calcítico, enquanto o mármore calcítico travertino tem estrutura brechóide que implica numa movimentação fragmentada irregular, rica em poros (que necessitam impregnação da rocha com resinas).

Observando-se a Figuras 1 e 2 nota-se a nítida influência da movimentação da rocha no grau de abrasão necessária para a constatação visual da perda de lustro pela metodologia PEI. A foliação protomilonítica do Verde Labrador resulta em intenso microfissuramento e conseqüentemente no aumento da escarificação durante a abrasão, com conseqüente perda do lustro já após 300 ciclos de abrasão.

Situação similar ocorre no caso do Café Imperial e Marrom Caldas, rochas estas com movimentação paralela variável de intensa a forte. Após 300 ciclos de abrasão, estas rochas apresentam início de perda de lustro pela metodologia visual PEI, à semelhança dos gabros Preto Aracruz e Preto Total. Em oposição, no Marrom Rubi, sem movimentação paralela e granulação fina, a perda de lustro só é detectada visualmente após 450 ciclos de abrasão. A movimentação nebulítica/paralela do Verde Candeias implica em constatação visual de perda de lustro após 300 ciclos de abrasão. Este fato resulta da combinação de dois aspectos: a orientação da rocha que conduz ao desenvolvimento de fraturas perpendiculares e obliquamente aos planos de foliação e da estrutura migmatítica que implica numa distribuição mais heterogênea do quartzo e do feldspato, com concentrações locais mais ou menos amplas e enriquecidas em feldspatos, onde a rocha assemelha-se, em termos de dureza, aos sienitos. Nas rochas gnaissificadas, com movimentação paralela mais ou menos clara e persistente, a constatação visual de perda de lustro só ocorre após uma abrasão durante 450 ciclos. Finalmente os granitos com movimentação homogênea apresentam constatação visual de perda de lustro após abrasão durante 450 (Vermelho Salmão e Amarelo Amêndoa Clássico) e 600 (Prata Interlagos e Cinza Mauá). Não existe correlação entre a maior e a menor manutenção visual do lustro e a textura (variação relativa da granulação dos granitos), que é inequigranular grossa/média no Vermelho Salmão, porfírica serial com matriz média no Amarelo Amêndoa Clássico, equigranular médio no Prata Interlagos e porfírica serial em matriz média no Cinza Mauá, o que indica a existência de outros fatores condicionantes da capacidade de manutenção do lustro inicial.

Entre os mármore, nem a composição nem a movimentação demonstraram influência na constatação inicial da perda do lustro por metodologia visual PEI, que em todos os casos ocorre após 150 ciclos de abrasão. Entretanto, a Figura 1 demonstra que em termos de lustro medido nos mármore maciços, o mármore dolomítico supera o mármore calcítico e ambos ultrapassam a resistência à perda do lustro do mármore calcítico travertino com estrutura brechóide.

Cor da Rocha. Como mencionado anteriormente, a percepção visual da perda de lustro de um revestimento é condicionado, em parte, pela cor da rocha ornamental. A experiência empírica sugere que em rochas claras a perda do lustro é menos notada que em rochas escuras. Para comprovar a influência da cor no condicionamento da percepção da perda do lustro em rochas ornamentais, as amostras ensaiadas incluíram variedades cinzentas, avermelhadas, amareladas, castanhas, verdes, pretas e brancas.

A Figura 5 revela a ausência de uma relação sistemática entre a capacidade de manutenção do lustro inicial absoluto e a cor da rocha. Entretanto, esta correlação fica patente na Figura 6 que indica que a constatação visual da perda de lustro pela metodologia PEI ocorre nos granitos cinzentos Mauá

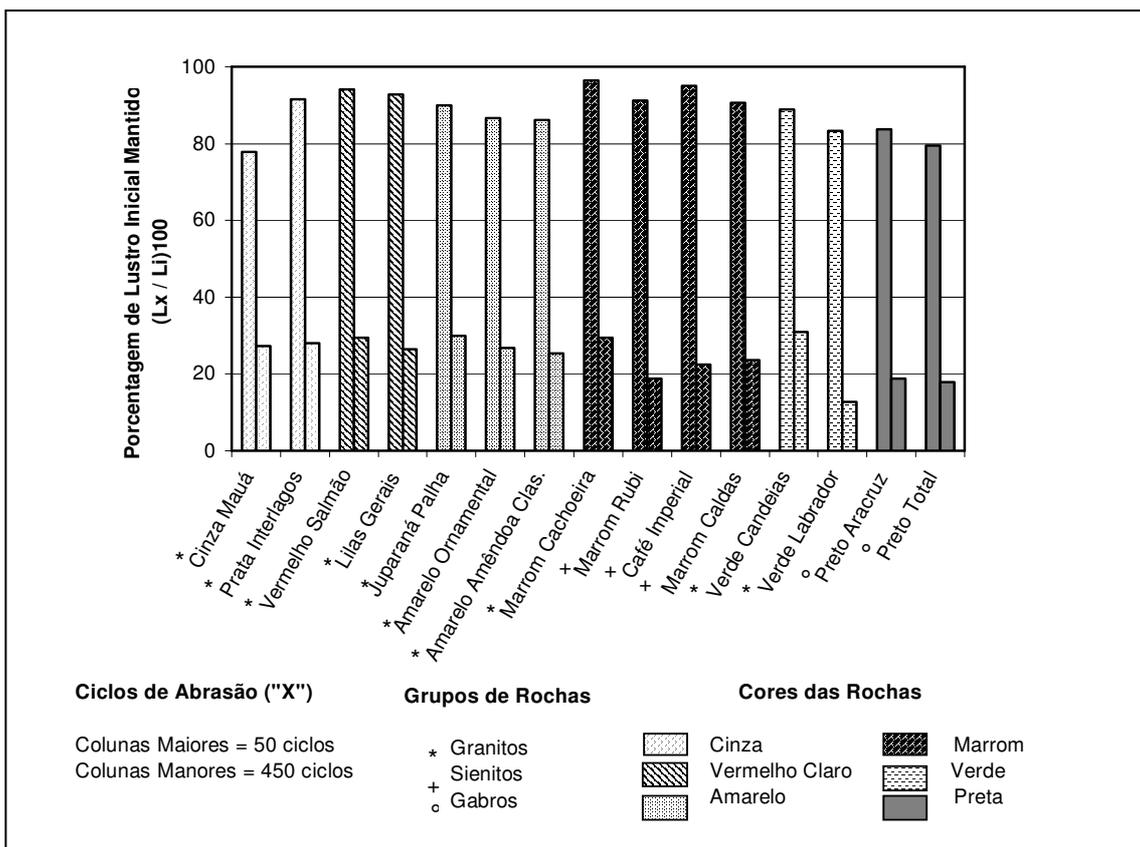


Figura 5 – Percentagem do lustro inicial mantido e cor em diferentes tipos de rochas ornamentais silicatadas submetidas a 50 e 450 ciclos de abrasão segundo a metodologia PEI.

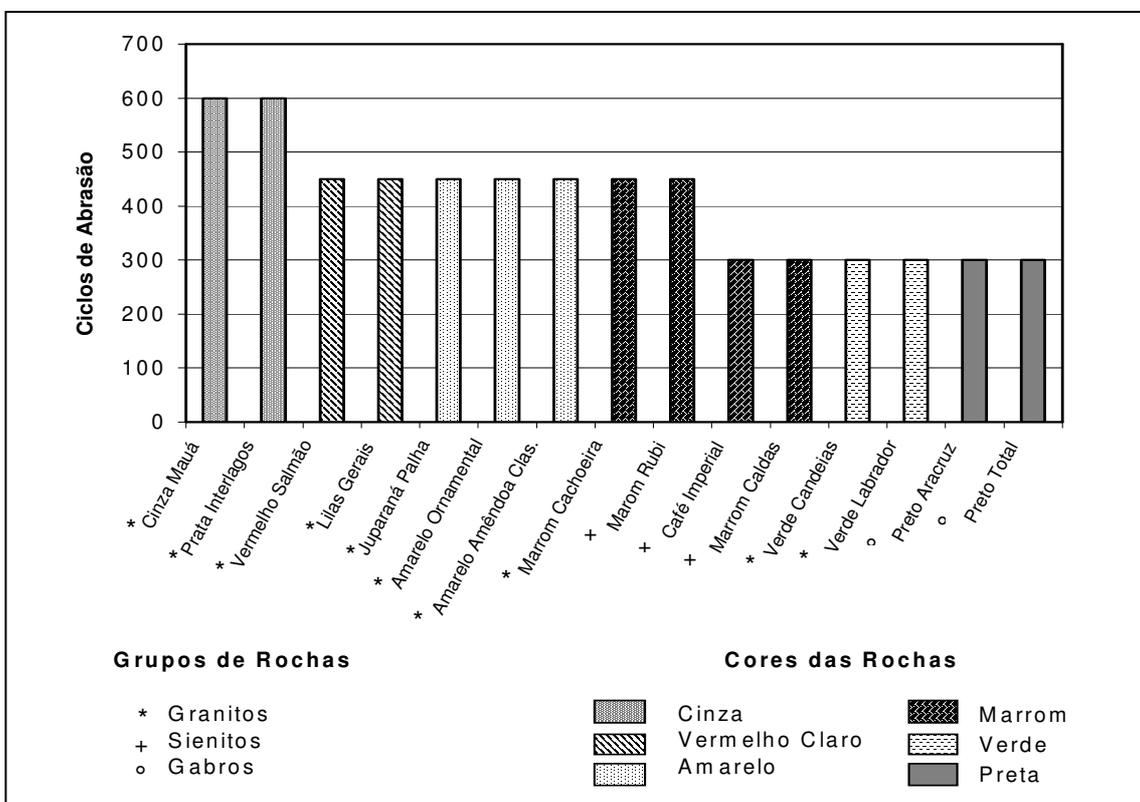


Figura 6 – Perda do lustro inicial por estimativa visual e cor em diferentes grupos de rochas silicáticas ornamentais submetidas à abrasão progressiva segundo a metodologia PEI.

e Interlagos apenas após 600 ciclos de abrasão. As duas rochas são homogêneas (sem movimentação). O Cinza Mauá apresenta textura porfírica serial, cerca de 25% de quartzo, cuja dimensão média é em torno 2,5 mm. O Prata Interlagos é equigranular, contém cerca de 35% de quartzo com dimensão média em torno de 2,5 mm. Entretanto, a porcentagem de lustro inicial mantido após 450 ciclos de abrasão situa o Prata Interlagos e o Cinza Mauá apenas no 5º e 6º lugares, respectivamente, entre todos os granitos ensaiados (Figura 1). Este conjunto de dados sugere que efetivamente a cor é um fator condicionante na percepção visual da perda de lustro em granitos ornamentais.

Granitos mais ou menos avermelhados, amarelados e acastanhados e sienitos castanhos apresentam perda visual do lustro segundo a metodologia PEI após 450 ciclos de abrasão. Os granitos reúnem uma ampla gama de variedades estruturais e texturais, incluindo rochas homogêneas a gnáissicas, equigranulares a porfíricas (ver Quadros 1a e 1b) e com teores e granulação de quartzo variáveis (Figuras 3 e 4). O sienito Marrom Rubi é uma rocha discretamente orientada, equigranular, marrom clara e com reflexos avermelhados, aspectos estes que o distingue dos demais sienitos estudados (Café Imperial e Marrom Caldas). Ainda entre os granitos, os de cor verde (Verde Candeias e Verde Labrador) apresentam perda visual do lustro pela metodologia PEI após 300 ciclos de abrasão, idêntico aos sienitos castanhos porfíricos fluidais e aos gabros pretos homogêneos e equigranulares (Preto Aracruz e Preto Total). Os granitos verdes tem as duas estruturas mais exóticas neste grupo de rochas, sendo o Verde Candeias um migmatito gnáissico e o Verde Labrador um protomilonito recristalizado. Aqui novamente fica patente a influência da cor na percepção visual da perda do lustro: enquanto que o Verde Labrador, entre os granitos, apresenta a menor porcentagem do lustro original mantido após 450 ciclos de abrasão, o Verde Candeias, sob mesmas condições de desgaste, apresenta a maior porcentagem de lustro original mantido, superando os granitos cinzentos Prata Interlagos e Cinza Mauá.

As causas da maior porcentagem de lustro inicial mantido pelos sienitos Marrom Caldas e Café Imperial, em relação ao Marrom Rubi, após 450 ciclos de abrasão é debitada à estrutura fluidal e à textura porfírica bem desenvolvida que provoca a isorientação dos cristais placóides de feldspato alcalino gerando planos refletos paralelos, cujo efeito supera a maior absorção de luz nestes sienitos mais escuros. Mas também aqui, o Marrom Rubi apresenta início visual de perda de lustro após maior abrasão (450 ciclos) que os sienitos mais escuros (300 ciclos).

Emergem assim duas considerações fundamentais: não existe relação direta entre a constatação da perda do lustro pela metodologia PEI e o lustro medido (ou a porcentagem do lustro original mantido) e que em rochas escuras (castanhas, verde e pretas) a percepção visual da perda do lustro é mais intensa que em rochas rosadas, amareladas e cinza claras/prateadas. Estas conclusões obviamente

não se aplicam aos mármore, nos quais a perda visual do lustro ocorre sistematicamente e independentemente de sua cor e tipo de carbonato dominante em sua composição, após 150 ciclos de abrasão.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Revestimentos cerâmicos (cerâmicas esmaltadas e porcelanatos) e materiais naturais (rochas ornamentais) desde que refletoras (ou pela aplicação de camada externa com estas características ou por polimento) estão sujeitas no decorrer do tempo a uma progressiva perda do seu lustro inicial, quer por ataques químicos quer por abrasão. O primeiro caso é comum em locais de manipulações de ácidos solventes, soluções salinas, sabão não perfeitamente neutralizados, agentes de limpeza agressivos e em ambientes poluídos que implicam, entre outros reagentes agressivos, no desenvolvimento de chuvas ácidas. O segundo caso ocorre principalmente em locais de tráfego humano intenso, quer em corredores de prédios públicos quer em centros comerciais.

A perda do lustro de rochas ornamentais e cerâmicos assentam em princípios diferentes. No primeiro caso a abrasão destrói uma superfície polida obtida no próprio material. No segundo caso implica na remoção gradual de uma camada refletora aplicada sobre um suporte cerâmico base e cujas características finais resultam de reações entre uma mistura de componentes a altas temperaturas em forno de queima. Já o porcelanato apresenta características intermediárias: resulta de reações a elevadas temperaturas (caso das cerâmicas), mas sofre posterior polimento (caso das rochas ornamentais).

Por isto mesmo a determinação da resistência à abrasão de cerâmicas revestidas e rochas ornamentais obedecem a metodologias distintas. Cerâmicas são testadas sob elevadas rotações e são desgastadas por um abrasivo constituído essencialmente por esferas de aço com dimensões variáveis (metodologia PEI). Rochas ornamentais são testadas sob rotações da ordem de 10 vezes menores e são desgastadas por areias compostas essencialmente por grãos de quartzo com dimensões variáveis (metodologia Amsler; segundo diretrizes da norma NBR 12042 da ABNT, 1992b). Comum a ambas as metodologias é que os equipamentos de abrasão combinam movimentos de rotação e translação para que a superfície testada entre em contato com o abrasivo segundo todas as direções possíveis.

No presente estudo os autores estudaram a perda de lustro de diferentes rochas ornamentais utilizando a metodologia PEI, que por suas características (maior velocidade de rotação e amostras submetidas ao desgaste por abrasivos mais duros) provoca um desgaste mais rápido nas rochas ornamentais do que a metodologia Amsler. Tal técnica visou obter respostas mais rápidas para determinar a influência de diferentes fatores na perda do lustro (função do grau de destruição da superfície

polida), incluindo a composição mineralógica da rocha, a proporção entre os minerais constituintes da rocha (moda), as dimensões absolutas e relativas dos minerais aglutinados na rocha, a estrutura da rocha (rochas movimentadas ou não), a cor da rocha e o teor de quartzo na rocha, já que este mineral é freqüente e característico em granitos. Este grupo de rochas inclui comercialmente granitos magmáticos homogêneos, granitos migmatíticos (ou granitos movimentados) e gnaisses graníticos caracterizados pela existência de uma foliação (orientação preferencial dos minerais resultantes da deformação e recristalização dos minerais durante o metamorfismo da rocha).

Outro aspecto foi a de determinar a existência ou não de uma relação entre a variação da capacidade refletora (= capacidade de manutenção do lustro inicial da superfície polida) de uma rocha submetida à abrasão progressiva e a perda de lustro determinado visualmente segundo a metodologia PEI. Para isto, após cada ensaio de abrasão foi medido o lustro da superfície desgastada por meio de um *Gloss Meter*, calculada a porcentagem de lustro inicial mantido e determinado visualmente a ocorrência ou não de perda de lustro segundo a metodologia PEI.

Alguns dos fatores determinantes da perda do lustro de rochas ornamentais estão representadas nas Figuras 1 a 6 e sua interpretação baseou-se principalmente nos dados do Quadro 1. Entre as principais conclusões que ressaltaram da interpretação dos resultados cabe destacar:

1) A reprodutibilidade dos dados obtidos. Tal fato baseia-se nos biotita gabronoritos Preto Aracruz e Preto Total, ambos maciços e homogêneos, e que mostram apenas pequenas variações na sua granulação que é média a fina no primeiro e fina no segundo. Tanto nas medidas quantitativas (Figuras 1 e 5) quanto nas relativas (Figuras 2 e 6) os resultados obtidos foram praticamente idênticos, o que confirma a validade das conclusões aqui apresentadas;

2) Considerando-se as rochas como um todo, nas fases iniciais dos desgastes (50, 100 e 150 ciclos de abrasão) a variação da porcentagem do lustro inicial é nitidamente proporcional ao valor medido do lustro inicial (Figura 1), e é menor nos mármore que nas rochas silicáticas (granitos, sienitos e gabros). Após 450 ciclos de abrasão as porcentagens de lustro inicial mantido estabilizam-se e desvinculam-se do lustro inicial medido. Ao mesmo tempo é realçada a influência da composição da rocha, apresentando os granitos maior capacidade de manutenção do lustro inicial, seguidos pelos sienitos, gabros e mármore. Entre as rochas silicáticas a porcentagem de lustro inicial mantido determina uma curva suavemente decrescente, de tal modo que os valores mais baixos para os granitos superpõem-se aos mais elevados dos sienitos e os mais baixos destes assemelham-se aos valores mais elevados dos gabros. Fica patente também a rápida diminuição da porcentagem de lustro inicial mantido nos mármore a partir de 300 ciclos de abrasão (Figura 1);

3) Não há relação direta entre o lustro medido e a constatação visual do início da perda de lustro pela metodologia PEI. Esta constatação ocorreu no Verde

Candeias e no Verde Labrador após 300 ciclos de abrasão (Figura 2). Entretanto, após 450 ciclos de abrasão, a porcentagem de lustro inicial mantido do Verde Candeias é significativamente maior que a do Verde Labrador (Figura 1). O mesmo é válido para os granitos Prata Interlagos e Cinza Mauá, para os quais foi constatado visualmente início de perda de brilho apenas após 600 ciclos de abrasão, correspondendo às rochas de melhor desempenho, sob este aspecto, entre as 18 litologias testadas (Figura 2). Entretanto, a sua capacidade de manutenção do lustro inicial após 450 ciclos de abrasão as coloca apenas em 5^o e 6^o lugares entre os 10 tipos de granitos estudados (Figura 1). Outros exemplos ficam patentes pela cuidadosa comparação entre as Figuras 1 e 2;

4) Foi observada boa correlação entre a capacidade de manutenção do lustro inicial e a combinação dos fatores teor de quartzo e a dimensão média deste mineral nas rochas. A Figura 3 mostra que após 450 ciclos de abrasão, a maior porcentagem de lustro inicial mantido é de granitos que apresentam, ao mesmo tempo, elevados teores de quartzo e contendo grãos de quartzo com grandes dimensões, e que a menor porcentagem é de granitos mais pobres em quartzo e nos quais o quartzo tem dimensões reduzidas (Figura 3). A Figura 4 confirma mais uma vez que não existe relação direta entre lustro medido e a constatação visual de início de perda de lustro segundo a metodologia PEI. Assim, no Verde Candeias e no Verde Labrador esta constatação ocorreu após 300 ciclos de abrasão, enquanto que estas rochas são, respectivamente, as com maiores e menores capacidades de manutenção do lustro inicial entre todos os granitos estudados após 450 ciclos de abrasão (Figura 3). Tal discrepância pode ser atribuída à diferente estrutura das duas rochas. O Verde Candeias tem estrutura migmatítica (rocha movimentada), enquanto o Verde Labrador é protomilonítico;

5) As Figuras 5 e 6 evidenciam a importância da cor das rochas silicatadas na constatação visual, segundo a metodologia PEI, do início da perda visual do lustro. Em rochas escuras (pretas, verdes, castanhas escuras) o início de perda de lustro é constatado após 300 ciclos de abrasão, enquanto que em rochas marrom claras, amareladas e vermelho claras esta feição só é observada após 450 ciclos de abrasão. Finalmente nas rochas cinzentas, tanto com tonalidades médias (Cinza Mauá) ou claras (Prata Interlagos), a constatação visual do início da perda de lustro só ocorreu após 600 ciclos de abrasão (Figura 6). Estas rochas são também homogêneas (Quadros 1a, 1b) e contém teores de quartzo acima de 30% e a granulação média deste mineral é da ordem de 2,5 mm (Figuras 3 e 4). Igualmente, são pouco alteradas (Quadros 1a, 1b). Desta maneira os bons resultados em termos de constatação visual do início da perda de brilho representa a melhor combinação entre o tipo litológico (granito), estrutura (homogênea ou ausência de movimentação), teor de quartzo (acima de 30%), tamanho médio dos grãos de quartzo (em torno de 2,5 mm) e grau de alteração (ausente a incipiente) de todas as rochas estudadas.

RECOMENDAÇÃO

Face aos resultados obtidos, recomenda-se, sob o aspecto estético da manutenção por tempo máximo do lustro de um piso revestido por rochas ornamentais e sujeito a intenso tráfego humano, que a rocha aplicada seja um granito claro, com estrutura homogênea (rocha sem movimentação), rico em quartzo e que este mineral tenha grandes dimensões. Esta recomendação poderá ser testada pelo acompanhamento da evolução estética do “Shopping Center” Parque Don Pedro na Cidade de Campinas, SP, e inaugurado em 2002, cujo piso contém da ordem de 7.000 m² de rochas escuras desprovidas de quartzo num contexto de mosaicos com outras variadas de rochas ornamentais.

AGRADECIMENTOS

Os autores A. C. Artur e R. M. Andrighetti agradecem à FAPESP, através do Processo 97/03800-3, e o autor E. Wernick ao CNPq, através do Processo 500459/90-8, que direta ou indiretamente deram suporte à esta pesquisa. Os agradecimentos são extensivos à empresa EMIGRAN Pisos e Revestimentos em Granitos, com sede na cidade de São João da Boa Vista - SP, pelo fornecimento das amostras utilizadas na presente pesquisa e ao Laboratório de Ensaio Cerâmicos do Sindicato de Ceramistas de Santa Gertrudes - SP, que gentilmente permitiram a execução dos ensaios para determinação da resistência à abrasão superficial.

BIBLIOGRAFIA

- ARTUR, A.C.; MEYER, A. P.; WERNICK, E. 2001. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. *Anais do I Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Semin. de Rochas Ornamentais do Nordeste*. p. 13-19. Salvador.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992a. Rochas para revestimento – análise petrográfica. 3 p. (norma ABNT-NBR 12768).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992b. Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3 p. (norma ABNT-NBR 12042).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1997. Determinação da resistência à abrasão superficial – Anexo D (normativo). p. 17-22. (norma ABNT-NBR 13818, Anexo D).
- RODRIGUES, E. de P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.M.V. 1997. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. *Rev. Rochas e Equipamentos*. V.47, 2p. Lisboa, Portugal.
- RODRIGUES, E. de P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C. 1996. Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. *Rev. Rochas de Qualidade*. São Paulo, nº 127:80-84.

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E TECNOLÓGICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS, NO SUDOESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Tânia Maria Gomes Fernandes¹, Antônio Misson Godoy² e Nedson Humberto Fernandes³

¹Departamento de Geologia/CC/UFC
Campus do Pici – Fortaleza (CE)

Fone: (0XX)85 – 288 – 9867 - e-mail: taniamgf@bol.com.br

²Departamento de Petrologia e Metalogenia/IGCE/UNESP
Av. 24 – A, 1515, Bela Vista – Rio Claro (SP)

Fone (0XX)19 – 526 – 2809 - e-mail: agodoy@rc.unesp.br

³Departamento de Geografia/CCT/UECE

Av. Dedé Brasil s/n, Itaperí, Fortaleza (CE)

Fone: (0XX)85 - 299 – 2678 - e-mail: nedsonhf@aol.com

RESUMO

No Centro Produtor de São Thomé das Letras, realizaram-se pesquisas em duas Áreas piloto, denominadas respectivamente de área I (São Thomé das Letras) e Área II (Luminárias). Nas respectivas áreas foram selecionadas para estudos seis variedades de quartzitos (Branco, Amarelo, Róseo, Luminárias, Carrancas e Carranquinha).

A caracterização petrográfica revelou diferenças significativas em suas composições mineralógicas e texturais, principalmente, com relação às quantidades de quartzo, muscovita e minerais óxidos. Petrograficamente os quartzitos da região de São Thomé das Letras, apresentam coloração clara, textura fina, ocorrendo apenas as variedades Branco, Amarelo e Róseo. Por outro lado, os quartzitos da região de Luminárias, possuem tonalidade verde-escuro com manchas avermelhadas no plano da foliação e variação significativa quanto a textura, ocorrendo as variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

Quanto à caracterização química na análise da amostra de rocha total para elementos maiores, apresentou variações significativas dentro de cada variedade de quartzito do Centro Produtor de São Thomé das Letras. A composição química de muscovita e magnetita, também mostraram diferenças significativas nas duas áreas de exploração de quartzitos.

INTRODUÇÃO

O Centro Produtor de São Thomé das Letras localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, estando geograficamente localizadas pelos municípios de São Thomé das Letras, Três Corações, São Bento Abade, Luminárias, Carrancas, Mindourí, Cruzília, Baependi e Conceição do Rio Verde (Figura 1).

Do ponto de vista geológico esses quartzitos situam-se na denominada Faixa Alto Rio Grande (ALMEIDA & HASUI 1984), a qual é representada por um pacote de rochas supracrustais que compreende o grupo Andrelândia, atribuído geocronologicamente ao Mesoproterozóico.

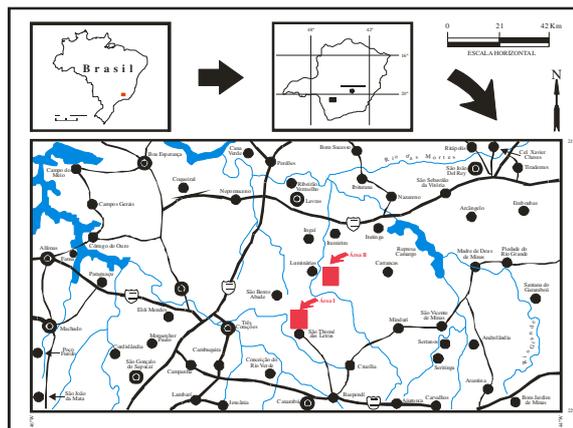


FIGURA 1: Mapa de localização das áreas estudadas no Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG).

No referido centro produtor, foram cadastradas 25 pedreiras, sendo 15 no município de São Thomé das Letras e 10 no município de Luminárias. As lavras de quartzitos da região se alinham grosseiramente de SW para NE, compreendendo as porções de relevo mais elevado da região. No município de São Thomé das Letras (Área I), as frentes de lavras localizam-se ao longo da Serra da Boa Vista, enquanto para o município de Luminárias (Área II) os quartzitos afloram na Serra Grande.

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DOS QUARTZITOS DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

Macroscopicamente as três variedades (Branco, Amarelo e Róseo), possuem características petrográficas semelhantes. São rochas de coloração clara, que apresentam uma estrutura foliada/laminada bem marcada, paralela a subparalela a uma possível estrutura primária sedimentar (S_0), caracterizada pela alternância de níveis quartzosos e níveis micáceos, com espessuras variando de milímetros a centímetros.

A diversidade de coloração nessas rochas é marcante, apresentando como cores dominantes quartzitos Branco, Amarelo e Róseo. Esta variação na coloração ocorre verticalmente e lateralmente através de contato brusco, inviabilizando uma padronização de um único tipo.

A passagem de um nível para outro é marcada por contato brusco, onde se observam níveis irregulares e descontínuos que se intercalam exibindo níveis com espessuras variadas centimétricas a métricas.

Os níveis de coloração esbranquiçados são predominantes e ocorrem intercalados aos níveis amarelados e rosados. Os quartzitos amarelos constituem níveis mais superiores, geralmente ocorrendo sotopostos ao capeamento do solo (porção superior), sendo, porém, mais susceptível, aos processos de alteração devido à percolação de águas meteóricas. Os níveis róseos são observados nas extremidades das frentes de lavras, ocorrendo também em quantidades menores em relação aos níveis esbranquiçados.

Composicionalmente essas variedades de quartzitos são mais puras, mostrando uma composição predominantemente quartzosa que se alterna com delgados níveis enriquecidos em muscovita, responsáveis pela partição das placas. Na variedade de quartzito Branco, observaram-se níveis de composição quartzosa, com espessuras centimétricas a métrica e estrutura maciça, os quais não são aproveitados na produção de placas, por não desenvolverem planos de partição.

Microscopicamente as três variedades são compostas essencialmente por quartzo (90 a 95 %) e muscovita (5 a 10 %). Como mineralogia acessória observaram-se traços de plagioclásio, turmalina, zircão, magnetita e rutilo. Exibem textura granoblástica fina, caracterizada pela predominância de grãos de quartzo, que se alternam a níveis enriquecidos de muscovita, gerado por delgados cristais lamelares os quais encontram-se alinhados iso-orientados e descontínuos entre si.

Na variedade Amarela observou-se a presença de alteração intempérica durante a percolação de fluidos principalmente de água meteórica nos planos de foliação da rocha, resultando na oxidação do Fe^{+2} presente nos minerais óxidos.

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DOS QUARTZITOS DE LUMINÁRIAS

Macroscopicamente esses quartzitos diferem dos da região de São Thomé das Letras, principalmente, pela coloração esverdeada caracterizada pela grande quantidade de muscovita (geralmente entre 15 e 30 %) na sua composição. Normalmente apresentam no plano da foliação, figuras arborescentes desenhadas por dendritos de óxidos e/ou hidróxidos de manganês.

Esses quartzitos caracterizam-se também pela estrutura bandada/foliada bem desenvolvida paralela a sub-paralela à uma possível estrutura primária S_0 . A estrutura bandada é evidenciada através da alternância de níveis muscovíticos, quartzosos e níveis enriquecidos em minerais óxidos, que normalmente apresentam espessuras na ordem de milímetros a centímetros.

Apresentam granulação média (variedade Carrancas), fina (variedade Luminárias) e muito fina (variedade Carranquinha). A variação na granulação está condicionada a zonas de maior ou menor deformação, bem como de diferentes níveis composicionais na época de sedimentação. Os contatos são bruscos ocorrendo verticalmente dentro de todo o pacote rochoso.

Microscopicamente a variedade Luminárias é composta essencialmente por quartzo (65 a 70%) e muscovita (25 a 30%), apresentando como mineralogia acessória magnetita (2%), rutilo (1%), microclínio (Tr), turmalina (Tr), ilmenita (Tr), granada (Tr), zircão (Tr) e plagioclásio (Tr). Exibem textura granoblástica fina marcada pela predominância de grãos de quartzo e por uma discreta textura granolepidoblástica observada localmente, caracterizada por níveis enriquecidos em muscovita e minerais óxidos principalmente magnetita + rutilo.

A variedade Carranquinha exibe textura granolepidoblástica muito fina, e apresenta como mineralogia essencial quartzo (75 a 80%) e muscovita (20 a 25%). Como minerais acessórios foram observados turmalina (Tr), zircão (Tr) e magnetita (< 01%).

O quartzito Carrancas é essencialmente composto por quartzo (80 a 85%) e muscovita (15 a 20%), apresentando como mineralogia acessória magnetita (01%), rutilo (< 01%), turmalina (Tr), zircão (Tr), granada (Tr) e plagioclásio (Tr). Quanto a textura, esta varia de granolepidoblástica a lepidogranoblástica caracterizada pelo aumento de muscovita.

As variedades Luminárias e Carrancas apresentam um grau de transformação mineralógica proeminente, onde a principal transformação é a substituição parcial e completa de granada e de muscovita por minerais óxidos (magnetita + rutilo). Outra substituição bem marcada é a textura de exsolução entre magnetita e a titano-magnetita, magnetita e o rutilo e, de magnetita com flames de ilmenita.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

QUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Os elementos maiores apresentam variações significativas dentro de cada variedade de quartzito (Branco, Amarelo, Róseo, Luminárias, Carrancas e Carranquinha) do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

Os valores de SiO_2 são oscilantes dentro das diferentes variedades de quartzitos (Diagrama 01). Os valores mais elevados são observados nas variedades Amarelo, Róseo e Branco quando comparados com as variedades Luminárias, Carranquinha e Carrancas. Estes valores estão condicionados a grandes quantidades de quartzo na composição modal desses litotipos e conseqüentemente um maior empobrecimento em muscovita.

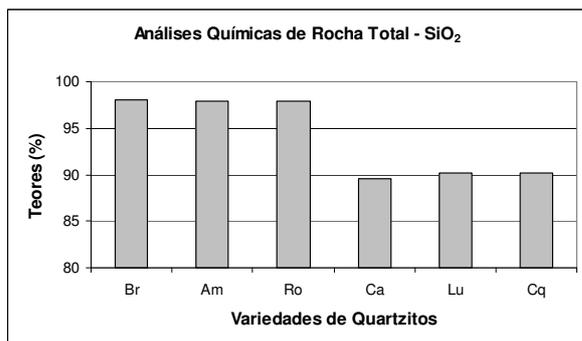


Diagrama 01: Diagrama de freqüência do SiO₂ para as variedades de quartzitos estudados.

O Al₂O₃ também apresenta diferenças significativas entre as diferentes variedades (Diagrama 02), onde se observa teores elevados para as variedades Carranquinha, Luminárias e Carrancas, explicada neste caso pelas quantidades expressivas de muscovita nesses litotipos.

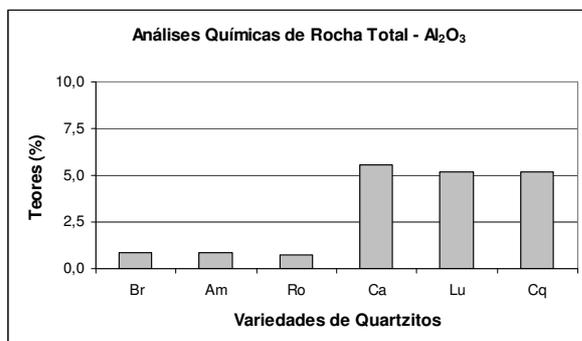


Diagrama 02: Diagrama de freqüência do Al₂O₃ para as variedades de quartzitos estudados.

Os valores variáveis de TiO₂ (Diagrama 03) são reflexos na diferença de quantidades de minerais óxidos, principalmente magnetita e rutilo, presentes nos diferentes tipos de quartzitos estudados.

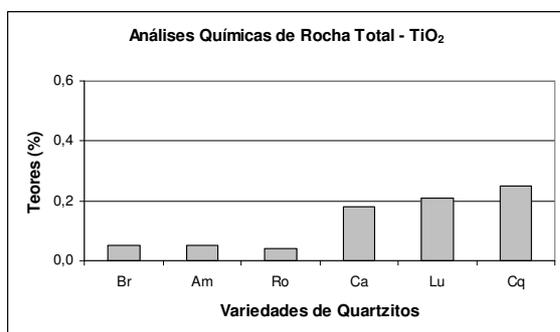


Diagrama 03: Diagrama de freqüência do TiO₂ para as variedades de quartzitos estudados.

Quanto aos valores de Fe₂O_{3t} (Diagrama 04) as diferenças significativas observadas estão diretamente relacionadas, as quantidades de muscovita e minerais óxidos muito mais elevados nas variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

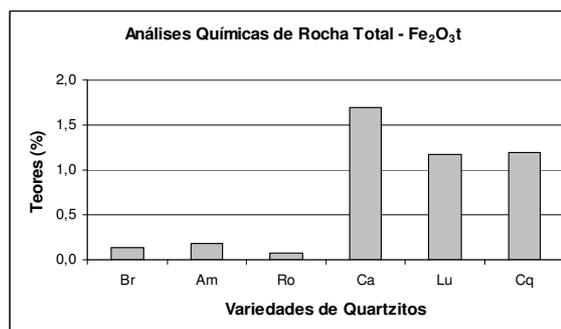


Diagrama 04: Diagrama de freqüência do Fe₂O_{3t} para as variedades de quartzitos estudados.

Com relação aos valores de K₂O presentes nas seis variedades (Diagrama 05) as diferenças registradas estão relacionadas às quantidades de muscovitas na composição modal das variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

Quanto aos teores de Cr₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O e P₂O₅, não foram registradas variações significativas para as diferentes variedades estudadas.

Com relação ao LOI (perda ao fogo) os valores apresentados mostraram diferenças significativas, aqui explicados pelas diferentes quantidades de muscovita presentes em cada litotipo.

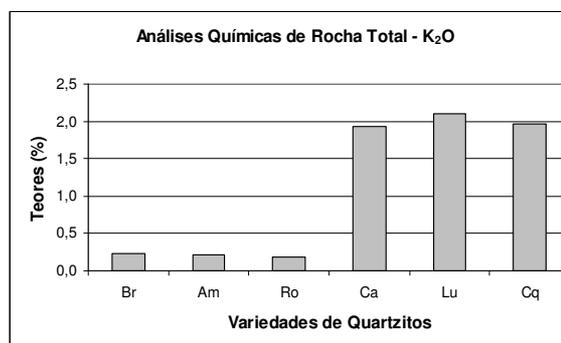


Diagrama 05: Diagrama de freqüência do K₂O para as variedades de quartzitos estudados.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA MINERAL (MUSCOVITA)

A muscovita representa juntamente com o quartzo, uma fase mineral importante nas variedades de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, principalmente nas variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha. A quantidade de muscovita na composição modal de cada variedade de quartzito, bem como, as suas variações químicas, influenciam diretamente na coloração dessas rochas. Deste modo elementos como FeO_t, TiO₂, MgO e Na₂O são extremamente variáveis na muscovita das variedades Branco, Amarelo e Róseo quando comparadas com as variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha. Os demais elementos analisados como SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, MnO, CaO, BaO, K₂O, V₂O₅ e F para as seis variedades estudadas não registraram diferenças significativas.

Os valores de FeO_t e TiO₂ para as muscovitas das variedades Branco, Amarelo e Róseo (Diagramas 06 e 07) são menos expressivos quando comparados aos teores observados nas variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

Entretanto, os teores registrados de MgO e Na₂O (Diagramas 08 e 09) mostram valores expressivos para as variedades Branco, Amarelo e Róseo em relação as variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

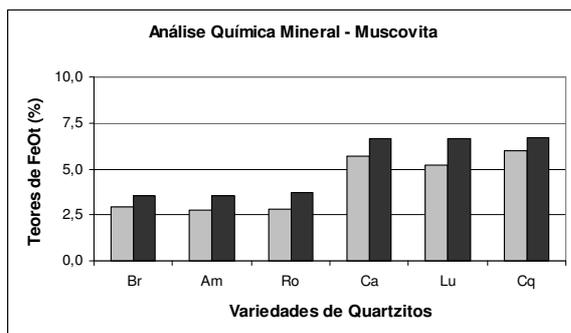


Diagrama 06: Diagrama de freqüência do FeO nas muscovitas das variedades de quartzitos estudados.

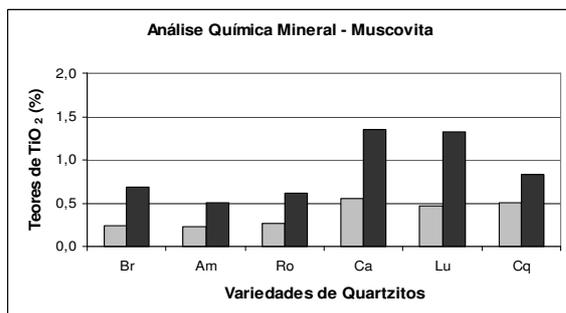


Diagrama 07: Diagrama de freqüência do TiO₂ nas muscovitas das variedades de quartzitos estudados.

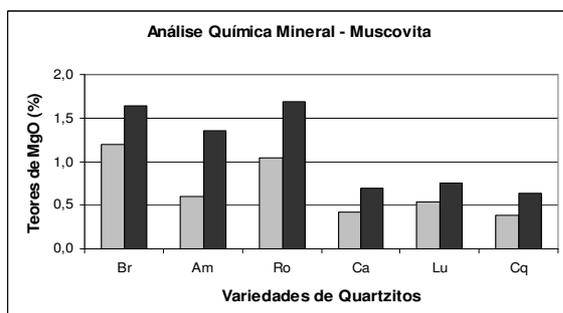


Diagrama 08: Diagrama de freqüência do MgO nas muscovitas das variedades de quartzitos estudados.

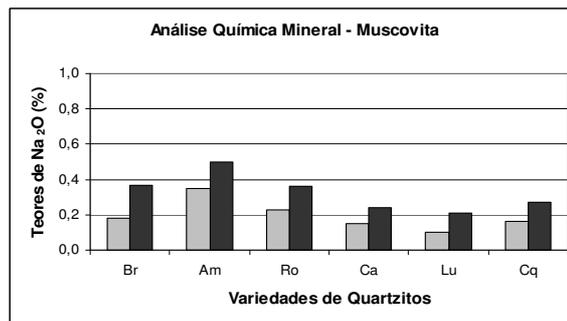


Diagrama 09: Diagrama de freqüência do Na₂O nas muscovitas das variedades de quartzitos estudados.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA MINERAL (MAGNETITA)

A magnetita representa o mineral óxido mais importante nos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, ocorrendo nas seis variedades estudadas. Sua composição é significativamente variada com relação aos valores de TiO₂. Quanto as variedades estudadas os valores de TiO₂ apresentados (Diagrama 10) mostram que a magnetita dos quartzitos Branco, Amarelo e Róseo é mais enriquecida em TiO₂ do que a magnetita das variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

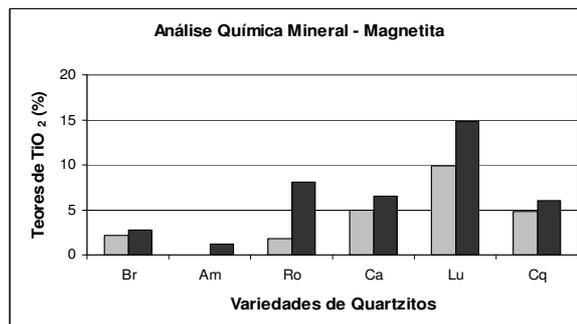


Diagrama 10: Diagrama de freqüência do TiO₂ nas magnetitas das variedades de quartzitos estudados.

Com relação aos teores de FeO e Fe₂O₃ (Diagramas 11 e 12) os valores para todas as variedades de quartzitos estudados não registraram variações significativas, com os valores máximos situados entre (30 e 32 %) para o FeO e (63 e 69 %) para o Fe₂O₃.

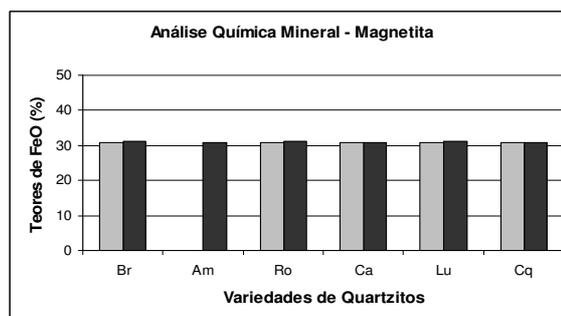


Diagrama 11: Diagrama de freqüência do FeO nas magnetitas das variedades de quartzitos estudados.

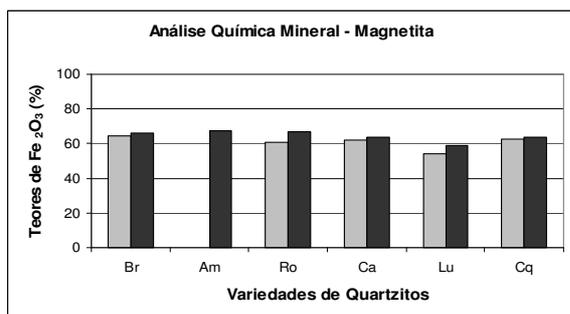


Diagrama 12: Diagrama de frequência do Fe₂O₃ nas magnetitas das variedades de quartzitos estudados.

AGRADECIMENTOS

A Autora T. M. G. Fernandes agradece ao CNPq através do processo número 5032307/1999, que direta ou indiretamente deram suporte à presente pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. – 1984 – O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo (SP), Edgar Blücher Ltda, 338 p.

CONCLUSÕES

A caracterização petrográfica mostrou que existem diferenças macroscópicas e microscópicas, principalmente relacionadas à coloração, composição mineralógica e textural que diferenciam os quartzitos da região de São Thomé das letras em relação aos da região de Luminárias.

Os quartzitos da região de São Thomé das Letras, variedades (Branco, Amarelo e Róseo) petrograficamente apresentam coloração clara, textura granoblástica fina e composição modal de quartzo de (90 a 95 %).

Os quartzitos da região de Luminárias, variedades (Luminárias, Carrancas e Carranquinha) petrograficamente exibem coloração em tons de verde forte com manchas avermelhadas no plano da foliação e texturas que variam de granolepidoblástica a lepidogranoblástica com granulação de muito fina a média, condicionada pelo aumento de níveis de muscovita.

A química de rocha total mostrou que as variedades pertencentes à região de Luminárias são mais enriquecidas em Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, MgO e LOI quando comparados aos da região de São Thomé das Letras. Entretanto, com relação aos valores de SiO₂ as variedades Branco, Amarelo e Róseo são mais enriquecidas.

A composição química mineral em muscovita e magnetita mostraram diferenças significativas para as duas regiões de exploração de quartzitos.

A caracterização química mostrou que a muscovita presente nas variedades Branco, Amarelo e Róseo são empobrecidas em FeO e TiO₂ e enriquecidas em MgO e Na₂O, quando comparadas as variedades da região de luminárias.

Com relação a magnetita, a análise química mineral mostrou que as variedades Róseo, Luminárias, Carrancas e Carranquinha são mais enriquecidas em TiO₂ do que a magnetita dos quartzitos Branco e Amarelo.

A diferença da quantidade de muscovita na composição modal desses quartzitos aliado a diferença na sua composição química é o fator principal da variação de coloração nesses quartzitos.

PADRÃO TECNOLÓGICO DO “GRANITO PRETO PIRACAIA” – SP, COMO ROCHA ORNAMENTAL.

Antonio Misson GODOY², Julio César de Pinheiro ARRAIS¹, Antonio Carlos ARTUR² e Tamar Milca Bortolozzo GALEMBECK²

¹ Mestrado na Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

² Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Petrologia e Metalogenia.

Av. 24-A, 1515 - Bela Vista. 13.506-900, Rio Claro, SP. Fone (19) 526 28 23, Fax (19) 524 96 44, e-mail: mgodoy@rc.unesp.br

RESUMO

O “Granito Preto Piracaia”, denominação da rocha ornamental do Maciço Piracaia, é representado por monzonitos inequigranulares homogêneos com pequenas variações composicionais locais. Apresentam granulação fina, fina/média e média e coloração cinza médio a cinza escuro, fraca alterabilidade dos seus minerais constituintes e encontram-se cortados por veios de composição quartzo-feldspáticas, quartzosas ou sieníticas.

Estas rochas exibem fraca anisotropia, definida por foliação milonítica NE-SW de médio a alto ângulo e famílias de fraturas que apresentam orientações principais NNE-SSW/subvertical, E-W/subvertical, NW-SE/subvertical e subhorizontal.

Os parâmetros tecnológicos físicos e físico-mecânicos são semelhantes ou mesmo superiores aos valores dos melhores “granitos pretos” brasileiros, que aliados às suas características petrográficas, valorizam o seu padrão estético e permitem indicá-lo como ideal para revestimentos tanto em ambientes internos quanto externos.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiadas através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc.

Essas rochas definem na atualidade uma das mais promissoras áreas setor mineral. Tal incremento foi determinado tanto pelos novos tipos de utilização das rochas ornamentais nas paisagens urbanas, principalmente no que se refere a obras de revestimentos, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos. Além destas características que aprimoram a exploração e otimizam a produção, conseqüentemente com redução dos custos, o mercado consumidor cada vez mais exigente requer uma padronização das características tecnológicas das rochas ornamentais destas jazidas. Neste sentido, os estudos visam a caracterização tecnológica dos monzonitos e monzodioritos da jazida comercialmente denominada “Granito Preto Piracaia”.

O Maciço Piracaia (Janasi, 1986) situa-se nos arredores da cidade homônima, extremo ENE do Estado de São Paulo. Constitui um corpo com forma de gota alongado e orientado segundo N30E, medindo cerca de 14,5 km de extensão, largura máxima de 3,5 km, perfazendo uma exposição da ordem de 28 km². Encontra-se intrusivo quer nos granitos cálcio-alcálicos do Complexo Granitóide Socorro, quer nos metassedimentos de médio a alto grau metamórfico, mais ou menos migmatizados do Complexo Metassedimentar Itapira (Figura 1).

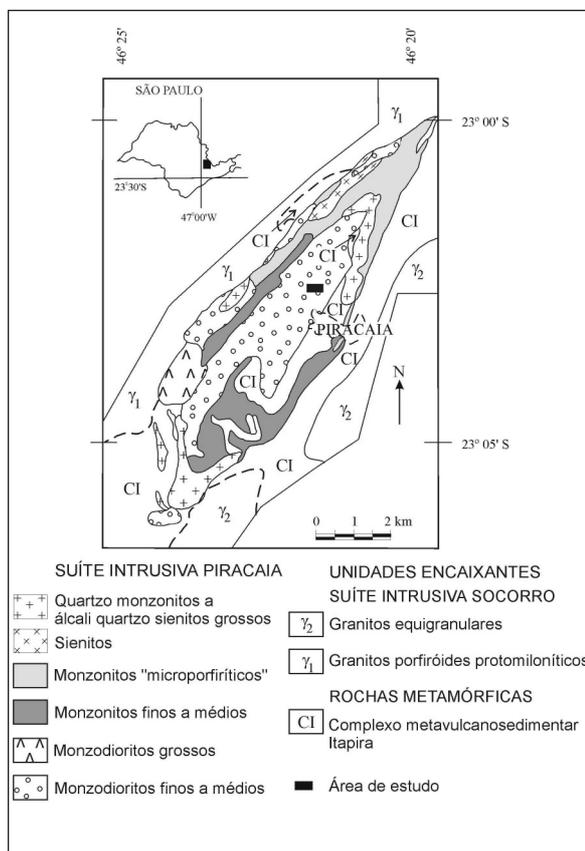


FIGURA 1– Mapa geológico esquemático do Maciço Piracaia (Janasi, 1986; modificado).

Janasi (1986) reconheceu para o Maciço Piracaia cerca de trinta faciológicas petrográficas que foram reunidas em seis associações de fácies mapeáveis na escala 1:25.000. Entre as rochas dominam monzonitos, monzodioritos, quartzo monzodioritos e quartzo monzonitos, ao lado de dioritos, quartzo dioritos, álcali-sienitos, quartzo-álcali-sienitos e álcali-granitos.

As rochas das diferentes fácies petrográficas do Maciço Piracaia incluem termos texturais equigranulares (muito finos, finos, médios e grossos), inequigranulares médios a grossos, porfíricos e megaporfíricos, apresentando índices de coloração modal variando entre mais de 30% até menos de 10%. São rochas portadoras de plagioclásio, feldspato alcalino, biotita, hornblenda/fe-hastingsita, augita e em alguns casos ortopiroxênio.

Marcante é o efeito da deformação regional, vinculada principalmente à Zona de Transcorrência de Extrema. Esta zona é responsável tanto pelo formato alongado do maciço, quanto pela geração de uma foliação de caráter tectônico intenso nas áreas de maiores deformações miloníticas e/ou de uma tênue foliação presente em quase todas as litologias.

GEOLOGIA LOCAL

A jazida de rochas ornamentais “Granito Preto Piracaia”, com Alvará de Pesquisa do Ministério das Minas e Energia de nº 47, de 17 de janeiro de 1972 (Figura 2), localiza-se acerca de 2 km a norte da Cidade de Piracaia, no Sítio Boa Vista, porção nordeste do Estado de São Paulo. Encontra-se inserida nas Folhas Topográficas Fazenda Santa Maria (SF-23-Y-D-I-1-WE-A) na escala 1:10.000 e Piracaia (SF.23-Y-D-I-1) em 1:50.000 e faz parte do Maciço Monzonítico-Monzodiorítico Piracaia.

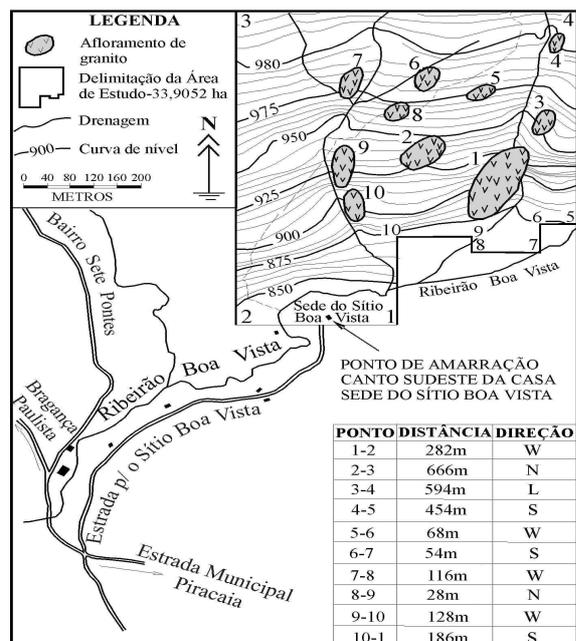


FIGURA 2 – Mapa de localização e da disposição dos corpos do polígono da área de estudo

A área caracteriza-se por um espesso manto de intemperismo com cobertura vegetal, onde ocorrem afloramentos de rochas frescas dispersas na forma de matações e lajeados, que apresentam dimensões variadas desde 40 m até 200 m ao longo do eixo maior. No geral exibem formatos ovalados e alongados e lajeados, alguns expostos por erosão e outros por decorrência de explorações.

O “Granito Preto Piracaia”, localmente é constituído por rochas de composição predominantemente monzonítica a localmente monzodiorítica, inequigranulares, com variedades de granulação fina, fina/média e média, localmente porfirítica caracterizada pela presença de esparsas ripas de plagioclásio branco a rosado com dimensões de até 1,5 cm. Apresentam coloração cinza clara a cinza escura com índice de coloração de 30%, variando até cerca de 40%.

Devido ao processo de diferenciação magmática e/ou variação no processo de resfriamento e consolidação ocorrem, freqüentemente, nos três tipos de monzonitos encontrados, variações locais denotadas por manchas alongadas e menos freqüentemente por diques de coloração rósea de composição sienítica e/ou feldspática. Observa-se ainda a presença de filetes, raramente veios mais longos, normalmente descontínuos, com espessuras sub-centimétricas a centimétricas de composição sienítica e quartzo-sienítica.

As principais feições que distinguem as três variedades faciológicas que constituem o “Granito Preto Piracaia”, são descritas abaixo. Para as análises petrográficas levou-se em consideração a sugestão da norma NBR 12768 (ABNT 1992a).

A **variedade de granulação fina ou grana fina** é constituída por rochas de composição monzonítica, inequigranulares, de coloração cinza escura com finas porções dispersas de cor rosa esbranquiçada, definidas por concentrações de feldspatos que podem atingir até 2,0 mm. Exibem granulação fina, com grãos entre 0,2 - 2,0 mm, média entre 0,3 - 0,5 mm. Os grãos minerais apresentam contatos predominantemente dos tipos côncavo-convexos, imbricados e, por vezes, planos; microfissuramento moderado, representado por fraturas não preenchidas, intragrão e intergranulares, dispostas de forma mais ou menos orientada. Geralmente apresentam discreta anisotropia definida principalmente pela sutil orientação de biotitas, que pode chegar a mais intensa devido a zonas de deformações localizadas. Os minerais que compõem estas rochas são principalmente plagioclásio do tipo andesina, biotita, microclínio e, secundariamente, hornblenda, titanita, apatita, allanita, opacos, epidoto, carbonatos, sericita e clorita; as transformações minerais se expressam pela sericitização e saussuritização do plagioclásio, cloritização incipiente das bordas das biotitas e anfibólios;

A **variedade de granulação fina/média ou grana fina/média** é representada por rochas de composição monzonítica, inequigranulares, de coloração cinza escura, granulação fina a média (0,2-3,0 mm), com predominância dos cristais entre 0,5 - 0,7 mm, ocorrendo freqüentemente cristais tabulares de feldspatos de cores brancas a rosadas, atingindo até 1,5 cm; com freqüente processo de microgranulação dos cristais, principalmente plagioclásio e microclínio. O tipo de contato que prevalece entre os cristais é o côncavo-convexo, com bom engrenamento, podendo ocorrer também o plano. A anisotropia é incipiente ou localizada, verificada principalmente através de fraturas descontínuas preenchidas por um material muito fino de coloração cinza escuro, resultado da fragmentação de minerais, definindo um padrão amendoado. A composição mineralógica destas rochas é muito semelhante à da variedade de grana fina, apresentando hornblenda e hastingsita;

A **variedade de granulação média ou grana média** é representada por rochas de composição monzonítica, inequigranulares, de coloração cinza média com tons rosa esbranquiçados, configurando textura “sal e pimenta”. Apresentam granulação média, com dimensões dos cristais entre 0,3 - 4,0 mm e predominância de 0,5 - 0,8 mm, porém alguns cristais esparsos pela rocha podem atingir até 2 cm. O tipo de contato que prevalece entre os cristais é o côncavo-convexo, podendo ocorrer o tipo plano. O microfissuramento é moderado, caracterizado como fraturas parcialmente preenchidas, intergranulares e não comunicáveis, as quais seguem uma orientação preferencial dentro dos minerais, atingindo maiores proporções nas porções mais deformadas. Apresentam leve anisotropia, no geral mais acentuada do que nas duas variedades anteriores, realçadas pelos seus constituintes maiores. A composição é muito semelhante à da variedade de granulação fina/média, inclusive com a hastingsita.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As rochas ornamentais e de revestimento, quando em uso, são submetidas às mais variadas solicitações, tais como: atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataques por produtos de limpeza, líquidos agressivos, etc. Assim, a precisa caracterização tecnológica desses materiais torna-se fundamental para sua utilização correta e econômica.

A análise comparativa entre os resultados obtidos dos diferentes ensaios tecnológicos e os parâmetros pré-fixados pelas normas possibilita a quantificação e qualificação dos materiais.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT é a entidade normatizadora dos parâmetros de qualificação de rochas ornamentais, sendo que normas de outras associações como a da American Society for Testing and Materials–ASTM, são utilizadas principalmente para comparações dos resultados obtidos para o “Granito Preto Piracaia”.

O Quadro 1 mostra os resultados médios dos principais ensaios tecnológicos realizados nos três tipos petrográficos comercializados como “Granito Preto Piracaia”, caracterizados por variações texturais e representados pela variedades de granulação fina ou grana fina; de granulação fina/média ou grana fina/média; e, granulação média ou grana média. As análises foram realizadas no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM – ICGE - UNESP.

Quadro 1 - Resultados dos ensaios físicos e mecânicos do “Granito Preto Piracaia”

Ensaio Tecnológico	Grana Fina	Grana Fina/Média	Grana Média
Massa Específica Aparente (kg/m ³)	2.877	2.836	2.827
Poros. Aparente (%)	0,34	0,35	0,38
Absorção d'água (%)	0,12	0,12	0,13
Compressão Uniaxial ao Natural (Mpa)	210,4	225,7	204,9
Flexão 3 Pontos (MPa)	24,85	28,61	15,09
Flexão 4 Pontos (MPa)	23,40	21,10	16,49
Desgaste Amsler (mm)	0,98	0,83	1,01
Impacto de Corpo Duro (cm)	67	66	65
Velocidade de Propagação de Ondas (m/s)	5455	5318	5183

O Quadro 2 apresenta os valores limítrofes dos ensaios tecnológicos especificados pela norma C-615 da ASTM (1992) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) para rochas graníticas utilizadas como rochas ornamentais e de revestimentos. Estes valores sugeridos foram utilizados como parâmetros balizadores em termos comparativos e da avaliação qualitativa das três variedades petrográficas do “Granito Preto Piracaia”. O Quadro 3 apresenta os parâmetros de ensaios tecnológicos de granitos ornamentais preto brasileiro.

Quadro 2 – Parâmetros limítrofes especificados para granitos ornamentais para revestimento.

Ensaio Tecnológico	C 615 ASTM (1992)	Frazão e Farjallat (1995)
Massa Esp. Aparente (kg/m ³)	≥ 2560	≥ 2550
Porosidade Aparente (%)	--	≤ 1,0
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4
Velocidade de Propagação de Ondas (m/s)	--	≥ 4000
Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m °C)	--	≤ 12,0
Desgaste Amsler (mm)	n.e.	≤ 1,0
Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 131,0	≥ 100,0
Flexão (mód. de ruptura-MPa)	≥ 10,34	≥ 10,0
Módulo de deformidade estático (GPa)	--	≥ 30,0
Impacto de Corpo Duro (cm)	--	≥ 0,4

Quadro 3 - Ensaio tecnológico: 1 - Preto Piracaia (Hornbl.-Biot. Monzodiorito) 2 - Preto Apiaí (Gabro); 3 - Preto Bragança (Quartzo Monzonito); 4 - Cofresa (Olivina Gabro); 5 - São Gabriel (Norito); 6 - Preto Total (Grabronorito).

Ensaio	1*	2*	3*	4**	5***	6***
Massa Espec. Aparente. (kg/m ³)	2.844	3.065	2.770	2.952	2.920	2.931
Porosid. Aparente (%)	0,50	0,54	0,44	0,06	0,16	0,20
Absorção d'água %	0,18	0,18	0,16	0,02	0,05	0,07
Compres. Uniaxial cong/deg. (MPa)	149,5	-	176,1	-	143,6	115,7
Compres. Uniaxial (MPa)	167,1	195,5	178,9	-	128,9	113,3
Flexão 3 Pontos (MPa)	15,75	26,4	25,1	-	25,71	22,43
Desgaste Amsler (mm)	1,05	0,76	0,85	0,82	1,14	2,02
Impacto Corpo Duro(cm)	88	61	73	-	98	88
Mód. Def. Estática (MPa)	32,96	47,13	42,45	-	73,54	64,20
Dil. Térm. 10 ⁻³ mm/m.°C	6,3	5,4	6,6	-	9,1	9,7
Velocid. Propag. de Ondas (m/s)	5010	6040	5330	-	-	-

Fontes: *IPT 2000; **IPT 1993; ***DNPM 1998.

Os resultados obtidos dos ensaios tecnológicos do “Granito Preto Piracaia” que se encontram sintetizados nas (Figura 3), mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas vigentes e que às vezes superam os valores médios dos melhores “Granitos Pretos” brasileiros, obedecendo satisfatoriamente os valores limítrofes fixados pela norma C615, da American Society for Testing Materials – ASTM para granitos, utilizados em revestimento, quer para ambientes internos, quer para externos. Concluímos, portanto, que os Monzonitos Piracaia satisfazem plenamente e refletem a adequação dos materiais estudados para o uso como rocha ornamental em quaisquer situações, como por exemplo, revestimentos e pavimentos externos e internos.

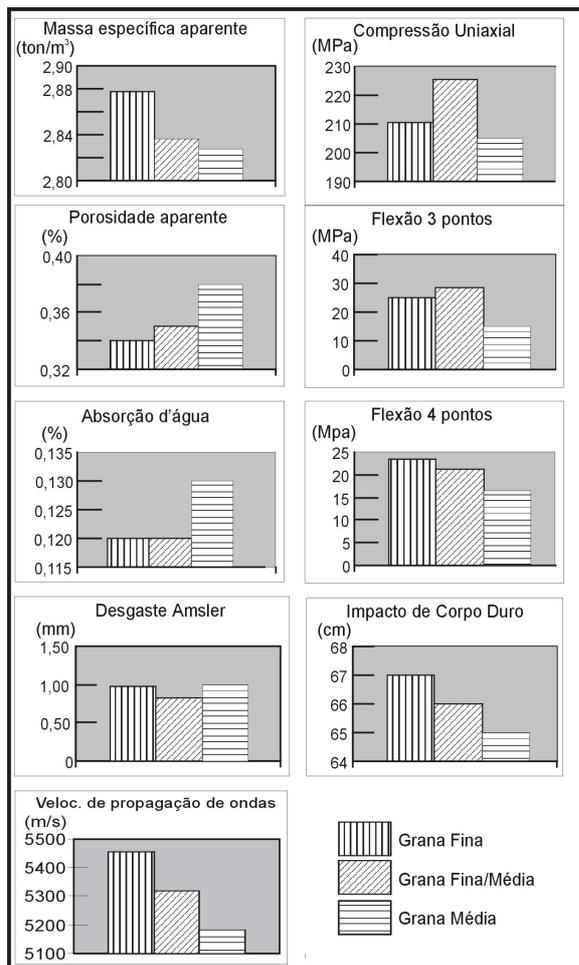


FIGURA 3 – Síntese dos Ensaios Tecnológicos do “Granito Preto Piracaia”.

CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS

No geral os resultados físicos e mecânicos fornecidos pelas rochas do “Granito Preto Piracaia” mostram boas correlações com os aspectos petrográficos (mineralógicos, texturais e estruturais) exibidas pelas três variedades estudadas e abaixo comentadas.

Os valores obtidos para os *ensaios físicos*, incluindo os resultados da *massa específica aparente*, *porosidade* e *absorção d'água* aparentes, efetuados

segundo a norma *NBR 12766* (ABNT, 1992b), apresentam-se dentro dos limites esperados. Os valores de *massa específica aparente* semelhantes para as três variedades de rochas estudadas (Quadro 1) refletem a similaridade composicional entre os referidos tipos petrográficos, sendo que a massa específica pouco mais elevada para a variedade de grana fina deve-se ao seu maior teor de minerais máficos. A *porosidade aparente* e a *absorção d'água* dos três tipos analisados apresentam-se no geral baixos, sendo que a grana média apresenta valores discretamente maiores, considerados como decorrentes da sua granulação pouco mais grossa e, principalmente, devido à foliação mais pronunciada em relação aos outros tipos petrográficos. Os bons resultados dos índices físicos fornecidos pelos referidos materiais refletem a homogeneidade petrográfica da rocha; o bom entrelaçamento mineral, caracterizado por cerca de 85% de contatos dos tipos côncavo-convexos e imbricados; baixo grau de microfissuramento intergranular e granulação geral relativamente fina das três variedades de rochas estudadas. Os baixos índices de porosidade e absorção d'água, aliados à composição mineralógica desses materiais, permitem qualificar estas rochas como bastante resistentes ao ataque de líquidos agressivos.

Os valores de resistência à *compressão uniaxial* das três variedades analisadas, obtidas segundo a norma *NBR 12767* (ABNT, 1992c), apresentam boa resposta, o que reflete a elevada coesão exibida pelas rochas e que pode ser atribuída ao bom entrelaçamento dos grãos minerais, baixos graus de microfissuramento e baixa a moderada alteração mineral. Para a variedade de grana média os menores valores refletem a razão direta da maior granulação e principalmente a anisotropia mais acentuada deste material. Os resultados obtidos para a rocha de grana fina divergem dos resultados esperados, no geral, menores em relação aos da rocha de grana fina/média, fato este creditado ao seu microfissuramento pouco mais pronunciado.

Os valores de *resistência à flexão 3 pontos* mostram-se diretamente dependentes das relações texturais e estruturais exibidas pelos materiais rochosos. Os ensaios foram efetuados segundo a norma *NBR 12763* (ABNT, 1992d). Neste ensaio os resultados apresentados pelas três faciologias foram muito satisfatórios, superiores aos limites estabelecidos pela norma *ASTM C 615*, (>10,34 MPa) e aos da média dos limites sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Entretanto, a rocha de grana média apresenta um valor inferior à média aferida para os demais materiais pretos brasileiros (normalmente superiores a 20 MPa), o que deve estar relacionado com a estrutura moderadamente foliada exibida por esta variedade petrográfica.

Os valores da resistência à *flexão 4 pontos* são igualmente elevados e refletem a alta resistência mecânica destas rochas. Os ensaios foram efetuados segundo as normas *C880* (ASTM, 1980). O melhor valor é o exibido pela rocha de grana fina, sendo que o resultado relativamente menor fornecido pela variedade de grana média deve-se, à semelhança dos resultados dos ensaios de flexão 3 pontos e de compressão uniaxial, aos efeitos da estrutura foliada mais evidente deste tipo petrográfico.

Os valores dos ensaios de *desgaste abrasivo*

Amsler, realizados segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e), apresentam bons resultados do ponto de vista tecnológico, com valores de desgastes próximos ao máximo sugerido por Frazão & Farjallat (1995). Os desgastes relativamente elevados relacionam-se à ausência e/ou baixíssimos teores de quartzo (no máximo entre 1 e 2% de quartzo intersticial). Por outro lado, os valores considerados como muito bons para materiais dessa natureza refletem a granulação relativamente fina e a homogeneidade textural exibidas por estas rochas e, em termos gerais, principalmente em função do bom entrelaçamento dos seus minerais, discretos graus de microfissuramento intergranulares e baixa intensidade da alteração mineral. O valor um pouco mais elevado apresentado pela variedade de grana média é atribuído à sua granulação nitidamente mais evoluída em relação às outras duas variedades petrográficas.

Os valores de *impacto do corpo duro* situam-se na média aferida para os granitos pretos brasileiros. Os ensaios foram executados segundo normativas contidas na norma NBR 12764 (ABNT, 1992f). Devemos considerar que os fatores determinantes na resistência ao fraturamento por impacto relacionam-se principalmente à granulação da rocha, microfissuramento mineral e presença de estruturas planares tais como foliação e gnaissificação. Os resultados são satisfatórios, sendo que a rocha de granulação mais fina é mais resistente ao impacto do que rocha de grana média, com anisotropia mais evidente, como é o esperado para este ensaio.

Os valores das velocidades de propagação das ondas *ultra-sônicas*, realizados com base nas normativas da norma D2845 (ASTM, 1990), estão diretamente relacionados com a granulação da rocha, entrelaçamento mineral e com o grau de anisotropia do material rochoso. Os resultados fornecidos pelas três variedades monzoníticas situam-se bem acima do valor limítrofe mínimo sugerido por Frazão e Farjallat (1995). A rocha de grana média exibe o menor valor, o que se deve à sua anisotropia estrutural e maior granulação em relação aos outros dois tipos petrográficos.

CONCLUSÕES

Os estudos de cunho geológico, petrográfico e estrutural, aplicado e direcionado ao enfoque de caracterização das rochas ornamentais das diferentes faciológicas da jazida do “Granito Preto Piracaia” e correlacionados aos ensaios tecnológicos, permitiram tecer considerações acerca da qualificação e quantificação destas rochas, apontando para a importância deste tipo de investigação na adequação dos materiais utilizados como rocha ornamental.

A seqüência litológica presente na área de domínio da pedreira está representada por monzonitos inequigranulares de coloração cinza médio a cinza escuro de granulação fina, fina/média e média, com um determinado padrão de homogeneidade e pouca alterabilidade dos seus minerais constituintes, sendo que na variedade de granulação média o padrão é mais heterogêneo. Todos esses fatores propiciam a utilização dos Monzonitos Piracaia como rochas ornamentais e de revestimento.

Os aspectos negativos estão associados a presença de veios, feições deformacionais e de feições locais porfíricas, que levam a desvalorização dos blocos, pela perda de homogeneidade da rocha.

Os parâmetros de ensaios tecnológicos dos Monzonitos Piracaia foram obtidos para as amostras de granulação fina, fina/média e média, conforme abaixo relacionado:

Quanto aos índices físicos, os valores obtidos foram, respectivamente: *massa específica aparente* (2,877; 2,836, e 2,827 kg/m³); *porosidade aparente* (0,34%; 0,35% e 0,38%) e *absorção d'água aparente* (0,12%; 0,12% e 0,13%);

Quanto ao *índice de resistência à compressão uniaxial* os valores obtidos foram de (210,4; 225,7 e 204,9 MPa);

Quanto ao *índice de resistência à flexão 3 pontos* os valores obtidos foram de (24,85; 28,61 e 15,09 MPa);

Quanto ao *índice de resistência à flexão 4 pontos* os valores obtidos foram de (23,40; 21,10 e 16,49 MPa);

Quanto ao *índice de resistência ao desgaste abrasivo Amsler* os valores obtidos foram de (0,98; 0,83 e 1,01 mm);

Quanto ao *índice de resistência ao impacto do corpo duro* os valores obtidos foram de (66; 63 e 67 cm);

Quanto à *velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas* os valores obtidos foram de (5.455; 5.318 e 5.183 m/s).

Os resultados dos ensaios tecnológicos obtidos satisfazem plenamente os objetivos em termos da qualificação dos materiais estudados e refletem a adequação das referidas rochas para o uso como material ornamental e de revestimento nos mais diversos ambientes externos e internos em edificações civis.

Os padrões tecnológicos dos Monzonitos Piracaia apresentam os valores dos parâmetros petrográficos, físicos e físicos-mecânicos próximos e às vezes superiores aos valores médios dos melhores “Granitos Pretos” Brasileiros e obedecem satisfatoriamente aos valores limítrofes fixados pela norma C615 (ASTM, 1992) e àqueles sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) para granitos utilizados em revestimento, quer para ambientes internos quer para externos.

Em razão dos dados obtidos considera-se que o “Granito Preto Piracaia” pode ser utilizado como revestimento interno e externo de edifícios, paredes e pisos, pias, objetos de adorno, decoração e até restauração de praças, jardins e calçadões, entre outros. Para utilização em arte funerária e fabricação de pias, o fator preponderante é o tamanho das placas e para isso é necessário levar em conta o padrão estrutural para definição dos blocos com dimensões compatíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992a. Rochas para revestimento. Análise petrográfica. 2p. (norma NBR 12767).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992b. Rochas para Revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2p. (norma NBR 12766).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992c. Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2p. (norma NBR 12767).

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992d. Rochas para Revestimento. Determinação da resistência à flexão. 3p. (norma NBR 12763).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992e. Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3p. (norma NBR 12042).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1992f. Rochas para Revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 2p. (norma NBR 12764).
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1990. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. 361-365p. (standart ASTM D 2845).
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1992. Standard especification for granite dimension stone. 2p. (standart ASTM C 615)
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL 1998. Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Mato Grosso. Coordenado por A. Rajab. Cuiabá: DNPM., 78p. (Publicação DNPM: CDD 553.098 1).
- FRAZÃO, E.B. e FARJALLAT, J.E.S. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: Atas 1º Congr. Internacional da Pedra Natura. Lisboa, Portugal. 47-58p.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1993 Catálogo das rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo. Coordenado por E.B. Frazão. São Paulo: Secretaria de do Desenvolvimento Econômico. 79p. il. (Publicação IPT 2048).
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2000 Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. Coordenado por M.H.B. de O. Frascá. São Paulo: SCTDE. CD-ROOM. (Publicação IPT 2651).
- JANASI, V.A. 1986. *Geologia e petrologia do maciço Monzodiorítico-Monzonítico de Piracaia – SP.* (Dissertação de Mestrado) Instituto de Geociências - USP, 281p.

PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DE DOIS TIPOS FACIOLÓGICOS DO GRANITO SERRA DO BARRIGA – SOBRAL (CE): RESULTADOS PRELIMINARES

José de A. Nogueira Neto¹, Irani Clezar Mattos², Wilhelm M. Sauerbronn³, Antônio Hélio M. Fernandes⁴, Erlon Rabelo Cordeiro⁵, Ricardo Emílio F. Q. Nogueira⁵, Ariston Araújo Cajaty¹, Antonio Carlos Artur⁶ e José Marcos Sasaki⁷

¹Universidade Federal do Ceará/DEGEO – Bloco 912 – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail:nogueira@ufc.br

²SENAI /CE e Pós-Graduação IGCE – UNESP – R. Júlio Pinto, 1873 – Bairro Jacarecanga – 60.035-010 – Fortaleza – CE – E-mail: icmattos@sfiec.org.br

³Curso de Geologia - Universidade Federal do Ceará – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail: wilhelmsauer@yahoo.com.br

⁴Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial/DITEM – Av. Prof. Rômulo Proença, s/n – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.451-970 - Fone: (85) 287-5211 – E-mail:ahmuniz@nutec.ce.gov.br

⁵Universidade Federal do Ceará/DEMP – Campus do PICI – Bairro PICI – Fortaleza – CE – E-mail: emilio@ufc.br

⁶ Depto de Petrologia e Metalogenia/IGCE/UNESP - Av. 24A, 1515, B. Bela Vista, 13506-900 - Rio Claro, SP Fone: (19) 526-2824/ Fax: (19) 524-9644/ E-mail: acatur@rc.unesp.br

⁷Universidade Federal do Ceará/ DEFIS – Campus do PICI – Bairro PICI – Fortaleza – CE – E-mail: sasaki@ufc.br

RESUMO

O trabalho em apreço consiste de um estudo sobre aspectos petrográficos e de química mineral, em dois distintos tipos faciológicos do Granito Serra do Barriga, denominados comercialmente de Rosa Iracema (RI) e Branco Savana (BS). Com as análises petrográficas, estas rochas foram classificadas como sienogranito e monzogranito, respectivamente o RI e BS. A despeito da similaridade mineralógica entre os granitos estudados, existem diferenças significativas nas composições químicas minerais, assim as biotitas do RI têm razões Fe/(Fe+Mg) que variam de 0,90 a 0,93, contra valores de 0,53, desta razão no BS. As cloritas pertencentes ao RI se concentram no campo da dafinita, com Fe total entre os intervalos de 7,98 a 8,57, enquanto aquelas do BS dispersam do campo da dafinita ao da brunsvigita, com o Fe total entre 6,41 a 8,75. Os plagioclásios componentes do BS são exclusivamente albita, e os do RI são representados por albita-oligoclásio. A junção destes parâmetros converge no sentido da diferença cromática exibida pelos tipos rochosos estudados.

INTRODUÇÃO

Na Província Borborema é predominante a ocorrência de extensas zonas de cisalhamento, ao longo das quais ocorreram posicionamentos de corpos com variadas dimensões de rochas predominantemente graníticas e granodioríticas de idade Neoproterozóica. A ocorrência e a exposição destes corpos geraram grandes potenciais para rochas ornamentais.

A crescente demanda pela utilização de rochas ornamentais tem despertado o mercado consumidor para os problemas gerados pela escolha inadequada, podendo ocasionar problemas do tipo: dissolução por agentes atmosféricos, desgaste por abrasão devido ao tráfego intenso, perda de brilho, manchamentos, descamação, fraturamento etc. A

melhor medida preventiva para estes problemas é a correta especificação das rochas ao uso pretendido.

Nesse sentido, adquire relevância a caracterização petrográfica e a química mineral dos principais constituintes de tais rochas, como importante ferramenta de apoio para a determinação de uso das mesmas, assim como, a caracterização física e mecânica dos diferentes tipos litológicos de um mesmo corpo granítico.

O comportamento das rochas ornamentais frente aos inúmeros esforços e solicitações às quais estão geralmente expostas, está condicionado às suas características mineralógicas, estruturais, texturais, físico-mecânicas e geoquímicas.

Como objeto de pesquisa foi escolhido o batólito da Serra do Barriga, localizado a 260 km noroeste de Fortaleza. O principal acesso à área, partindo de Fortaleza, é feito através de estrada pavimentada (BR 222), num percurso de 230 km e a partir daí, por meio de estradas carroçáveis para atingir os diversos jazimentos. (Figura 1)

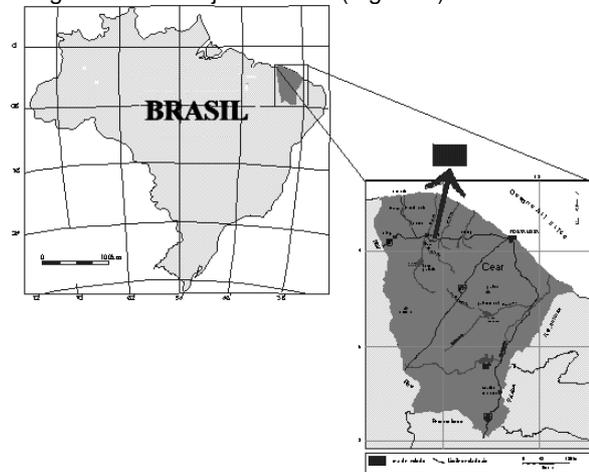


FIGURA 1 – Localização da área estudada

ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

A região noroeste do Estado do Ceará é constituída por dois segmentos crustais distintos, chamados de Domínio Médio Coreaú (DMC), localizado no extremo NW do Estado, e Domínio Ceará Central (DCC), limitado pelo Lineamento Transbrasiliiano a oeste, pelo Oceano Atlântico a norte e Faixa Orós a leste (Arthaud *et al.*, 1998).

O Domínio Ceará Central é formado por terrenos Pré-cambrianos constituído por um embasamento gnáissico-migmatítico com deformação polifásica, sequências de rochas supracrustais, que admitem correlação com *greenstone belts*, além de intrusões graníticas sin a tardi-tectônicas (Nogueira Neto, 2000).

Arthaud *et al.* (1998) descrevem como principal mecanismo de deformação do DCC, uma tectônica tangencial de baixo ângulo, onde são formadas estruturas tipo *nappes*, desenvolvidas a partir do embasamento gnáissico e coberturas plataformais com intercalações de metavulcânicas básicas e ácidas de alto K. O embasamento gnáissico-migmatítico de 2,0 Ga (Fetter, 1999), encontra-se sobreposto por sequências supracrustais compostas de xistos, quartzitos, calciossilicáticas, paragnaisses e metacalcários geradas ou retrabalhadas durante o evento Brasileiro.

O batólito que constitui a Serra do Barriga, encontra-se intruído nas unidades anteriormente descritas, sob a forma de uma estrutura dômica de composição granítica, conforme apresentado no mapa geológico da Figura 2 .

A geometria do corpo confere ao granito um caráter difuso em relação às condições de ocorrência, ou seja, com o posicionamento do corpo concordante ao “*trend*” regional, apesar de não apresentar aparentemente uma passagem gradual das rochas encaixantes gnáissico-migmatíticas até o granito não deformado (Tavares, 1992).

A variação faciológica deste granito, permitiu sua exploração comercial como rocha ornamental, em virtude de diferentes características cromáticas. O corpo que abrange uma área de aproximadamente 64 km² é formado por granito com textura porfiróide, composto por fenocristais idiomórficos de plagioclásios e feldspatos alcalinos, em meio a uma matriz quartzo-feldspática, com mica branca, clorita e biotita.

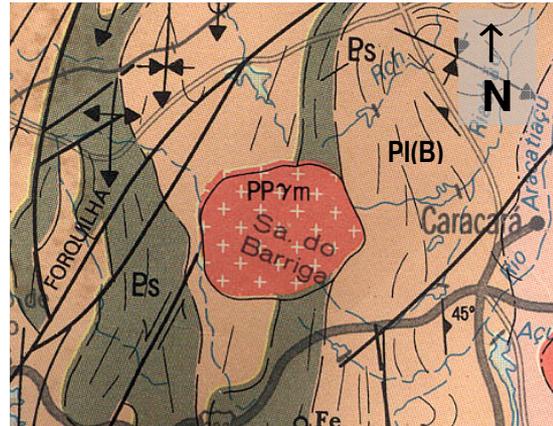


FIGURA 2 - Mapa Geológico-Estrutural da área onde está inserido o Granito Serra do Barriga mostrando a estrutura circular do corpo granítico e suas rochas encaixantes. Legenda: PI(B) Complexo Gnáissico –Migmatítico Indiferenciado; Ps – Grupo Ceará-Sobral; PPγm- Granitóides tipo Meruoca (Serra do Barriga). Escala aproximada: 1:330.000. (Modificado de Cavalcante, *et al.* 1983)

METODOLOGIA

Foram desenvolvidos estudos detalhados da composição mineralógica dos dois tipos faciológicos anteriormente mencionados, sob os pontos de vista petrográfico e de química mineral.

As análises químicas minerais têm intuito de um melhor entendimento sobre a composição dos principais constituintes da rocha e suas relações genéticas.

As análises químicas foram obtidas por microsonda eletrônica JEOL (JXA – 8600), do Laboratório de Microscopia e Microsonda Eletrônica do IG-USP, cujas condições instrumentais de análise foram as seguintes: potencial de aceleração: 15Kv; corrente de amostra: 10nA; diâmetro do feixe eletrônico de 5μ. O tratamento dos dados, bem como diagramas de classificação mineral, foram obtidos através do programa computacional MINPET 2.0 (Richard, 1995)

O estudo petrográfico seguiu rotina usual para tais análises, sendo efetuado em microscópio petrográfico binocular Nikon, do Laboratório de Petrografia do DEGEO-UFC.

PETROGRAFIA

O corpo que abrange uma área de aproximadamente 64 km² é formado por granito com textura porfiróide, por vezes, composto por fenocristais idiomórficos e hipidiomórficos de plagioclásios e feldspatos alcalinos, em meio a uma matriz quartzo-feldspática, com mica branca, clorita e biotita. A variação faciológica do Granito Serra do

Barriga permitiu sua caracterização em dois tipos que são comercialmente denominados “Branco Savana” e “Rosa Iracema”.

Branco Savana

A rocha em amostra de mão exhibe cor branca acinzentada, com matriz rosa-amarelada, e granulação grosseira.

Ao microscópio petrográfico, o litotipo possui textura hipidiomórfica inequigranular seriada, constituída por plagioclásio (25% - 35%), K-feldspato (25%-35%), quartzo (30%-40%), micas (5%-7%) e minerais acessórios como epidoto, zircão, fluorita, argilo-minerais e opacos ao redor de 2%.

Os plagioclásios em geral são subedrais a euedrais, apresentando por determinação ótica dos maclamentos, composição An₍₀₋₁₀₎ albita-oligoclásio. Frequentemente são observados cristais zonados. Micas brancas (muscovita/sericita) e minerais de argila substituem as porções centrais das zonas, provavelmente partes mais cálcicas dos plagioclásios.

Os feldspatos potássicos estão representados por microclinas com maclas em xadrez características, e intercrescimento peritítico. Os grãos minerais são em geral anedrais a subedrais, e por vezes englobam plagioclásios precoces.

Microfraturamentos intra e intergranulares, bem como recristalizações devido a esforços tectônicos são observadas comumente nos feldspatos.

Os quartzos ocorrem como agregados anedrais, exibindo microfraturamentos intra e intergranulares, extinção ondulante e processos de recristalização com alguma recuperação em sub-grãos. Estão dispostos em sua maioria imersos na matriz, contudo ocorrem em grãos de maiores dimensões juntamente com feldspatos.

Agregados de biotitas pardo-amarronzados, muitas vezes oxidados, representam a maioria das micas presentes. Exibem microinclusões metamícticas de zircões, e encontram-se fortemente afetadas por processos de cloritização, ora em lamelas e ao redor das clivagens das biotitas, ora transformando os agregados por inteiro para cloritas.

Os minerais acessórios contribuem com aproximadamente 2% do total de minerais observados. Os mais significativos são: opacos (óxidos de Fe), zircão, muscovita/sericita e minerais de argila.

Quanto à natureza ígnea o fácies do granito denominado “Branco Savana” apresenta composição variando de granito “stricto sensu” a monzogranito, podendo ser classificado como *Biotita Granito* (granito 3b de Le Maitre, 1989) ou *Biotita Monzogranito*.

Rosa Iracema

A rocha exhibe textura granular hipidiomórfica, variando localmente para granular xenomórfica. A mineralogia essencial é formada por microclina (35%-40%), quartzo (20%-30%), plagioclásio (20%-30%), micas (5%-7%) e anfibólios (2%-3%). Os minerais acessórios são compostos pelo zircão, titanita, allanita, epidoto, apatita, fluorita e opacos, enquanto os minerais produtos de alteração são representados, argilo-minerais e carbonatos.

Os feldspatos alcalinos estão representados pela microclina, o mineral mais abundante nas seções estudadas. Constituem cristais anedrais e subedrais, com tamanho entre 0.5 a 50 mm. Apresentam-se intensamente peritizados, característica esta que mascara o maclamento xadrez. Alguns cristais podem ser considerados como mesoperititas. As microclinas frequentemente envolvem pequenos cristais de plagioclásio, quartzo e biotita, e mostram incipiente alteração para argilo-minerais.

Os plagioclásios ocorrem como cristais normalmente subedrais e raramente euedrais. Exibem frequentemente maclamento da albita, e zoneamento composicional com o núcleo provavelmente mais cálcico. Em relação aos outros minerais, o plagioclásio apresenta um maior grau de alteração, cuja sericitização é mais comum, que por vezes chegam a desenvolver lamelas. Proporções bastante reduzidas de alterações para carbonatos são também observadas. Estas alterações, estão localizadas nas porções mais centrais dos cristais. As determinações óticas indicam composição oligoclásio-andesina.

Os quartzos têm as formas predominantemente anedrais, com contatos quase sempre irregulares em relação aos outros minerais. Ocorrências de grãos com disposição intersticial não são raras. Intercrescimentos granofírico em relação a porções mais ricas em feldspatos, são observados localmente.

As biotitas ocorrem principalmente sob a forma de lamelas em quantidades inferiores a 5%. Tal qual no tipo Branco Savana, as cloritas se formam às expensas das biotitas, mostrando efeitos de substituição na bordas e planos de clivagens daquelas últimas. As biotitas exibem forte pleocroísmo que varia de amarelo pálido a marrom escuro. Este pleocroísmo é modificado com a intensidade de alteração para clorita, tornando-se amarelo esverdeado claro até verde intenso nas palhetas totalmente substituídas.

Grãos prismáticos em seções basais e longitudinais de anfibólios, correspondendo às hornblendas, são encontrados dispersos por toda a lâmina.

Considerando uma faixa da composição modal, o fácies do granito denominado “Rosa Iracema” pode ser classificado entre *Sienogranito (3a)* e *Monzogranito (3b)* (Le Maitre, 1989).

QUÍMICA MINERAL

Considerando os dois tipos petrográficos estudados, foram analisados os seguintes minerais: biotitas, muscovitas, cloritas, anfibólios e feldspatos.

Os cálculos das fórmulas estruturais obedeceram aos seguintes parâmetros: biotitas – base de 24 oxigênios (Deer *et al.*, 1966); muscovita – com 24 oxigênios; cloritas – com 36 oxigênios; anfibólios – com 15 cátions e 23 oxigênios (Robinson *et al.*, 1981); e feldspatos – base de 32 oxigênios (Deer *et al.*, 1966).

Branco Savana

As biotitas analisadas apresentam a seguinte fórmula estrutural: $Si_{(5,713-5,731)} Al^{IV}_{(2,269-2,287)} Al^{VI}_{(1,231-1,236)} Ti_{(0,164-0,171)} Fe^{+2}_{(2,783-2,811)} Mn_{(0,027-0,034)} Mg_{(2,097-2,102)} Ba_{(0,001-0,002)} Ca_{(0,000-0,004)} Na_{(0,031-0,041)} K_{(1,978-2,026)} O_{20} (OH)_4$. As razões $Fe/[Fe+Mg]$, dentro da classificação flogopita-annita-eastonita-siderofilita, situam-se ao redor de 0,57 (Figura 3).

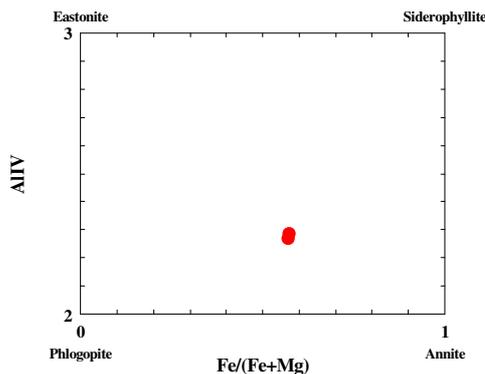


Figura 3 – Classificação das biotitas segundo a série annita-flogopita-eastonita-siderofilita, posicionando as biotitas com razões de $Fe/(Fe+Mg)$ em torno de 0,57.

O conjunto das muscovitas, resultou nas relações seguintes: $Si_{(6,124-6,173)} Al^{IV}_{(2,00)} Al^{VI}_{(3,00)} Ti_{(0,003-0,024)} Fe^{+2}_{(0,133-0,147)} Mn_{(0,000-0,004)} Mg_{(0,002-0,186)} Ca_{(0,000-0,003)} Na_{(0,058-0,098)} K_{(1,756-1,799)} O_{20} (OH)_4$.

As cloritas demonstram ampla variação em sua classificação, postadas entre os termos dafinita e burnsvigita (fig. 4), com a seguinte composição: $Si_{(5,198-6,586)} Al^{IV}_{(1,415-2,802)} Al^{VI}_{(2,870-3,413)} Ti_{(0,000-0,133)} Fe^{+2}_{(6,409-8,607)} Mn_{(0,110-0,158)} Mg_{(0,169-0,266)} Ca_{(0,000-0,042)} Na_{(0,002-0,015)} K_{(0,004-0,997)} O_{20} (OH)_{16}$.

Feldspatos alcalinos e plagioclásios exibem respectivamente $Ab_{(0,7-31,1)} Or_{(68,7-99,3)}$ e $Ab_{(91,4-98,7)} An_{(0,0-7,9)}$, correspondendo às relações, $Si_{(11,943-12,057)} Al_{(3,929-4,061)} Na_{(0,029-1,222)} K_{(2,699-3,901)}$, e $Si_{(11,690-12,039)} Al_{(3,944-4,315)} Ca_{(0,034-0,309)} Na_{(3,595-3,868)} K_{(0,017-0,069)}$. Assim, todos os plagioclásios correspondem exclusivamente a albita, enquanto os feldspatos alcalinos em sua maioria ao ortoclásio (Figura 5).

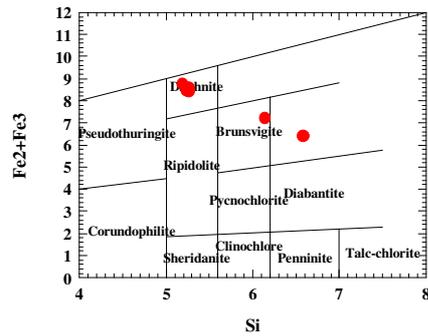


FIGURA 4 – Classificação das cloritas, mostrando variação entre os termos dafinita e burnsvigita, com Fe entre 6,41 e 8,75, versus Si de 5,2 a 6,59.

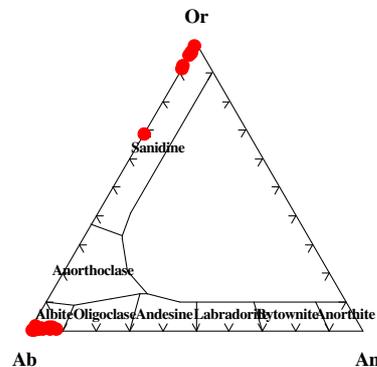


FIGURA 5 - Diagrama ternário mostrando a composição dos plagioclásios e feldspatos alcalinos. Os plagioclásios predominantes são do tipo albita (Ab_{91-99}), enquanto os feldspatos alcalinos correspondem ao ortoclásio (Or_{67-99}).

Rosa Iracema

Os anfibólios são apenas encontrados, em pequenas quantidades, no Rosa Iracema. Possuem a composição conforme o que vem: $(T)Si_{(6,519-6,611)} (T)Al_{(1,389-1,481)} (C)Al_{(0,294-0,385)} (C)Fe_3_{(0,200-0,316)} (C)Ti_{(0,115-0,233)} (C)Mg_{(0,721-0,922)} (C)Fe_2_{(3,181-3,433)} (C)Mn_{(0,032-0,045)} (B)Fe_2_{(0,054-0,110)} (B)Mn_{(0,032-0,045)} (B)Ca_{(1,696-1,787)} (B)Na_{(0,113-0,161)} (A)Na_{(0,394-0,507)} (A)K_{(0,253-0,287)}$. Considerando os valores de $(A)Na+(A)K > 0,5$, $Ti < 0,5$ e $Fe^3 < Al^{VI}$ estes anfibólios são classificados como ferro edenita hornblenda (Figura 6).

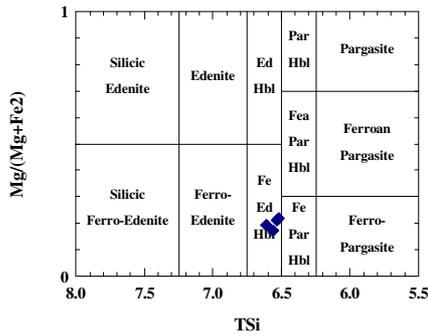


Figura 6 - Diagrama de classificação dos anfibólios no Granito Rosa Iracema, correspondendo a Fe-edenita hornblenda.

As biotitas, por sua vez, exibem a seguinte fórmula: $Si_{(5,651 - 5,946)} Al^{IV}_{(2,054 - 2,349)} Al^{VI}_{(0,463 - 1,120)} Ti_{(0,286 - 0,431)} Fe^{+2}_{(4,479 - 4,995)} Mn_{(0,056-0,079)} Mg_{(0,319 - 0,553)} Ba_{(0,000 - 0,009)} Ca_{(0,000 - 0,013)} Na_{(0,030 - 0,023)} K_{(1,744 - 1,983)} O_{20} (OH)_4$. Devido às razões $Fe/(Fe+Mg)$ variarem entre 0,90 e 0,93, estas biotitas situam-se próximo à annita na solução flogopita-annita-eastonita-siderofilita (Figura 7).

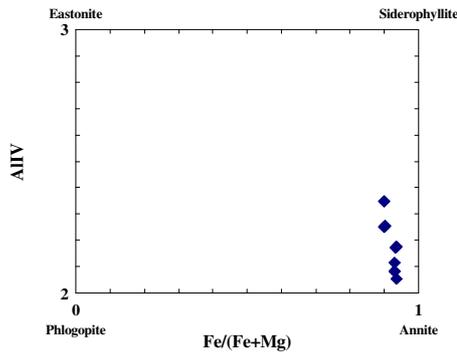


Figura 7 - Classificação das biotitas segundo a série annita-flogopita-eastonita-siderofilita, situando as biotitas próximas a annita, com razões de $Fe/(Fe+Mg)$ entre 0,90 e 0,93.

As cloritas, constituintes do granito ora abordado, exibem pequena dispersão no que concerne às razões $Fe/(Fe+Mg)$, situando-se entre 0,90 e 0,93. Assim em termos de classificação, são definidas como dafinita (fig. 8), formulada por: $Si_{(5,024 - 6,5288)} Al^{IV}_{(2,712-2,976)} Al^{VI}_{(2,494-3,140)} Ti_{(0,000 - 0,063)} Fe^{+2}_{(7,976 - 8,574)} Mn_{(0,098-0,120)} Mg_{(0,566 - 0,952)} Ca_{(0,002 - 0,024)} Na_{(0,000 - 0,018)} K_{(0,001 - 0,0028)} O_{20} (OH)_{16}$.

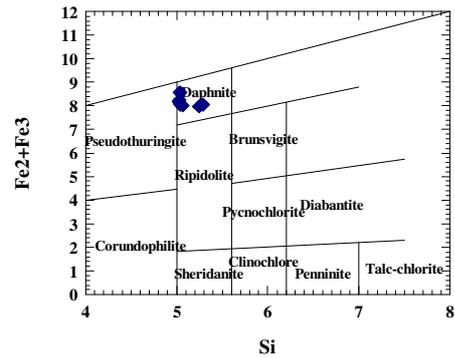


FIGURA 8 - Classificação das cloritas como dafinita, com variação de Fe entre 7,98 e 8,57, e Si de 5,02 a 5,3.

Os feldspatos alcalinos, considerando os termos extremos da solução sólida Ab-An-Or, possuem Ab (4,1 – 8,9) Or (91,1 – 95,8), com a fórmula correspondente a $Si_{(12,018 - 12,035)} Al_{(3,945 - 3,960)} Ca_{(0,000 - 0,003)} Na_{(0,162 - 0,352)} K_{(3,614 - 3,828)}$.

Os plagioclásios exibem Ab (71,5 – 96,3) An (0,8 – 15,8), cuja composição é, $Si_{(11,416 - 11,993)} Al_{(3,999 - 4,561)} Ca_{(0,032 - 0,627)} Na_{(2,840 - 3,756)} K_{(0,017 - 1,100)}$.

Conforme as composições acima definidas, os plagioclásios variam de albita até oligoclásio, já os feldspatos alcalinos, em quase sua totalidade estão representados pelo ortoclásio (Figura 9).

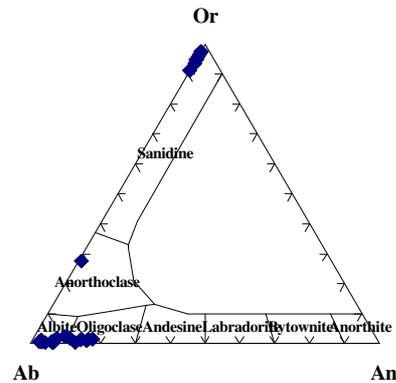


Figura 9 - Diagrama ternário mostrando a composição dos plagioclásios e feldspatos alcalinos. Os plagioclásios são do tipo albita (Ab₇₁₋₉₆) enquanto os feldspatos alcalinos correspondem ao ortoclásio (Or₉₁₋₉₆).

CONCLUSÕES

Conforme os dados petrográficos e as análises químicas minerais dos granitos estudados, considera-se que:

- a análise em termos modal dos minerais constituintes de ambos os tipos, demonstra que o Granito Rosa Iracema apresenta um percentual em feldspatos alcalino maior que o Branco Savana, e de forma inversa, com relação ao conteúdo em quartzo. Adicionalmente, apenas o “Rosa Iracema” apresenta anfibólio (hornblenda);
- os tipos comerciais designados por “Branco Savana” (BS) e “Rosa Iracema” (RI) correspondem respectivamente a **monzogranito** e **sienogranito**;
- as análises químicas de biotitas demonstram composições variadas destes minerais nos granitos distintos, nesse sentido, as biotitas do BS têm razões Fe/(Fe+Mg) de 0,57, enquanto àquelas do RI apresentam Fe/(Fe+Mg) que variam de 0,90 a 0,93, sendo portanto mais ricos em Fe, e próximos do extremo da solução sólida designado por annita;
- as cloritas, ao contrário das biotitas, exibem maior variação no BS em relação ao RI, com Fe(total) entre 6,41 e 8,75, em contra partida de 7,98 e 8,57 no RI;
- em ambos os fácies (BS e RI), os feldspatos alcalinos mostram uma predominância em ortoclásio;
- os plagioclásios diferem em cada um dos tipos, assim o BS é formado exclusivamente por albita, e o RI por albita-oligoclásio.

O efeito cromático rosa do sienogranito (RI), comparativamente ao monzogranito (BS), parece associado aos maiores percentuais em feldspato potássico, e menores em quartzo. Corroborando com tal comportamento, a composição mais rica em Fe de minerais como biotita e a presença de hornblenda são também sugestivas. Por outro lado, o maior conteúdo em quartzo, e uma composição exclusivamente albitica dos plagioclásios, representam fatores responsáveis pelas tonalidades esbranquiçadas do BS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M.; NOGUEIRA, J.A. ; OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V. ; MONIE, P. ; LIEGEOIS, J.P. ; CABY, R. & FETTER, A. 1998 - International Conferences on Pre-Cambrian and Craton Tectonics. Ouro Preto. *International Basement Tectonics Association*. p. 84/ 85.
- CAVALCANTE, J. C.; FERREIRA, C. A.; ARMESTO, R.C.G. e MEDEIROS, M.F. 1983 - Mapa Geológico do Estado do Ceará. Esc. 1:500.000. *Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará - SUDEC*
- DEER, A.W.; HOWIE, A. W. & ZUSSMAN, J. 1966. Minerais Constituintes das Rochas - uma

Introdução. *Fundação Calouste Gulbenkian*, Lisboa. 556 p.

FETTER, A. H. 1999 – U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State. NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of Gondwana. Tese de Doutorado, *Department of Geology, Kansas University*, Lawrence. 164 p.

LE MAITRE, R.W. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford. 193p.

NOGUEIRA NETO, J. A. 2000 – Evolução Geodinâmica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré, Extremo Noroeste da Província Borborema. Tese de Doutorado, *Curso de Pós Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista*, Rio Claro. 239 p.

RICHARD, L. R. 1995. Minpet for Windows - Version 2.02. *Minpet Geological Software*. Québec.

TAVARES Jr., S. S. 1992. Caracterização Litoquímica e Geocronologia Rb/Sr das Rochas Granitoides e Ortognaisses da Região de Santa Quitéria-Sobral, NW do Ceará. Dissertação de Mestrado, *Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará*, Belém. 143p.

ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Antônio Gilberto Costa^{1*}, Marcos Santos Campello^{2*}, Stael Lustosa Maciel^{3*}, Cristina Calixto^{4*} e Javier Eduardo Becerra^{5*}

¹Pesquisador CPMTC

²Doutorando Degel

^{3,5}Mestrando Degel

⁴Mestranda Degel

*Instituto de Geociências – UFMG – Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha – 31.270-901 – Belo Horizonte - MG

Fone: (31) 3499-5420 - Fax: (31) 3499-5410 - E-mail: ag.costa@uol.com.br

RESUMO

As rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, estas últimas com menor participação, têm, além da importância em termos petrogenéticos relacionados com a evolução crustal, grande importância no setor aplicado. O conhecimento de suas propriedades tem permitido e ampliado a utilização destes materiais na construção civil e na arquitetura ao longo da existência humana, seja enquanto material de revestimento ou enquanto matéria-prima para elementos decorativos, artísticos ou utilitários. Neste trabalho procuramos apresentar o quadro atual do conhecimento alcançado, com a implantação de novas técnicas para a caracterização destas rochas.

ABSTRACT

The knowledge of the igneous, metamorphic and sedimentary rocks has, besides the importance in petrogenetic terms related with the evolution crustal, great importance in the applied section. This knowledge has been allowing and enlarged the use of these materials in the civil construction and in the architecture along the human existence, be while coating material or while raw material for ornamental, artistic or utilitarian elements. In this work we tried to present the current picture of the reached knowledge, with the implantation of new techniques for the characterization of these rocks.

INTRODUÇÃO

Rochas ornamentais e de revestimento correspondem a tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados em formas diversas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro.

Satisfeitas estas condições, pode-se afirmar que as feições texturais, composicionais e mineralógicas serão sempre determinantes nas condições de resistência, de coloração e no grau de alterabilidade destas rochas. Além disso, os conteúdos mineralógicos e os seus respectivos arranjos, resultantes da atuação de processos ígneos, metamórficos ou sedimentares, interferem nas características estéticas destes materiais pétreos. A presença de filossilicatos, a existência de bandamentos composicionais e a atuação de

processos deformacionais, relacionados com diversos eventos tectônicos, poderão, em quantidades adequadas, modificar significativamente as texturas destas rochas, propiciando o desenvolvimento de estruturas planares ou de foliações. Estas modificações, em conjunto ou individualmente poderão comprometer um maior aproveitamento ou uma ampliação das possibilidades de aplicações dos litotipos com potencial para o setor de ornamentais e de revestimento.

O enquadramento por classe, bem como a indicação para uma correta aplicação de qualquer rocha ou conjunto de rochas do tipo ornamental ou de revestimento, vai depender, afora variações de seus conteúdos mineralógicos, do tamanho, da forma e dos arranjos dos grãos dos minerais que as compõem. Estas rochas podem conter preferencialmente cristais uniformes, ou podem se caracterizar pela presença de cristais de tamanhos muito variados, irregulares ou não. Estas diferenças são resultantes da atuação de processos envolvendo diferentes graus de cristalização, recristalização, seleção e transporte. De importante para a aplicação destes materiais pétreos, está o fato de que em conjuntos de cristais mal selecionados ou não, ou os arranjos poligonais, ou ainda a presença de grãos irregulares, podem significar variações significativas nas taxas de resistência a compressões e flexões, com grande variação em termos de porosidade e absorção d'água.

Em termos de produção, dentre os principais tipos de rochas com aproveitamento no setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil, destacam-se, as inúmeras e volumosas ocorrências de "maciços granitoides", com grande diversidade de tipos (gnaisse, migmatitos, granitos, gabros, etc.). Os depósitos de rochas quartzíticas, as ocorrências de lentes de mármore, as raras ocorrências de esteatitos (pedra sabão) e de serpentinitos, depósitos de xistos diversos (Costa & Maciel 2001; Costa et al. 2001), alguns milonitos e ainda os grandes depósitos de materiais descritos comercialmente como ardósias, integram este conjunto de rochas definidas como ornamentais e de revestimento.

CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Classificação segundo a composição e a coloração:

Com base no conteúdo mineralógico e em critérios composicionais, as rochas ornamentais e de revestimento podem ser designadas como:

(1). **GRANITOS** – Com base petrográfica pode-se afirmar que os granitos comerciais, além de apresentarem granulação variada, não necessariamente correspondem aos denominados granitos verdadeiros e podem envolver os seguintes tipos:

(1.1). quartzo-feldspáticos, aqui representados pelos chamados granitos verdadeiros (**GRANITO RUBY RED**, **GRANITO BÁLTICO BAHIA**, etc.) mas também por inúmeros gnaisse migmatíticos ou não (**GRANITO VERDE LAVRAS**, **GRANITO VERDE PRATA**, etc.);

(1.2). feldspáticos, que correspondem segundo classificação proposta pela *Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks* (IUGS 1973), aos sienitos (**GRANITO MARROM ITARANTIM**, **GRANITO AZUL BAHIA**, **GRANITO ÁS DE PAUS**, etc.) e aos anortositos (**GRANITO AZUL DA NORUEGA**, etc.);

(1.3). máficos, representados por algumas rochas básicas, tais como gabros de grão fino (**GRANITO PRETO SÃO GABRIEL**, etc.) e por basaltos.

Estas rochas podem apresentar colorações diversas, com destaque para os tons de amarelo (**GRANITO AMARELO FIORITO**, **GRANITO JUPARANÁ**, **GRANITO GIALLO VENEZIA FIORITO**, etc.), de branco (**GRANITO NEPAL**, **GRANITO BRANCO COTTON**, **GRANITO WHITE BEE**, etc.), de cinza (**GRANITO CINZA PIRÁ**, **GRANITO CINZA MAUÁ**, etc.), de vermelho ou de rosa (**GRANITO CORAL PERNAMBUCO**, **GRANITO ROSA RAISSA**, **GRANITO JACARANDÁ**, **GRANITO ROSA IMPERIAL**, **GRANITO VERMELHO BRAGANÇA**, **GRANITO LILÁS GERAIS**, etc.), de marrom (**GRANITO CAFÉ IMPERIAL**, **GRANITO MARROM CALDAS**, etc.) e diversos tons de verde (**GRANITO VERDE LAVRAS**, **GRANITO VERDE VAN GOGH**, **GRANITO VERDE PAVÃO**, etc.). A coloração dos granitos está relacionada em parte com a presença de minerais primários (feldspatos, piroxênios, anfíbios, etc.) ou com processos de alteração de seus constituintes opacos e de minerais máficos (Oliveira & Costa 1998b), com a formação de determinados minerais, dentre os quais se destaca a clorita e a biotita.

Os granitóides, embora contenham, às vezes, associações minerais muito semelhantes, indicando condições de formação muito próximas, podem apresentar uma grande variedade de estruturas e de conteúdo mineralógico, que associados a outros fatores, fazem com que estas rochas mostrem feições bem diferenciadas e aproveitamentos distintos. Assim, no mercado de rochas ornamentais e de revestimento, materiais gerados através de processos idênticos, acabam por receber denominações variadas e por apresentarem distintos padrões estéticos, são comercializados, frequentemente, com grandes variações em termos de custos por m².

(2). **QUARTZITOS** – Os quartzitos com alto grau de recristalização e granulação predominantemente fina, quando constituídos essencialmente por quartzo, mostram textura granoblástica e podem apresentar propriedades típicas dos chamados granitos comerciais. Nestes casos, a extração será a partir de blocos, sendo possível a obtenção de chapas regulares, em teares apropriados, com posterior processo de beneficiamento envolvendo o polimento e lustro. Em função da presença de determinados minerais acessórios, como a dumortierita ou a cianita, ou ainda de minerais opacos alterados, observa-se uma variação na coloração destas rochas entre tons de azul (**QUARTZITO AZUL IMPERIAL**), cinza azulado (**QUARTZITO AZUL**) e rosa (**QUARTZITO ROSINHA DO SERRO**), respectivamente. Por apresentarem características semelhantes a dos granitos ornamentais, estes quartzitos são descritos comercialmente, com certa frequência, como sendo granitos.

Ao contrário dos primeiros, os quartzitos com alto conteúdo em minerais micáceos (**QUARTZITOS SÃO TOMÉ**) podem apresentar foliação até muito bem desenvolvida em função da disposição preferencial destes filossilicatos, não permitindo a extração de blocos e o corte regular de chapas. Normalmente, verifica-se uma total falta de padrão e de regularidade nas áreas de extração destes materiais. Nestes casos, a falta de regularidade dos níveis aliada aos métodos não adequados de extração determinam grandes perdas e baixas taxas de aproveitamento para os mesmos.

No mercado encontram-se ainda tipos quartzosos pouco recristalizados, que a partir da análise petrográfica, podem ser caracterizados como sendo meta-arenitos (**QUARTZITO ROSA AURORA**) e ainda aqueles com altos conteúdos em feldspatos, que correspondem a meta-arcósios (**QUARTZITO PINK**).

Para os quartzitos, as cores variam entre os tons de branco (**SÃO TOMÉ BIANCO**), rosa (**ROSHINA DO SERRO**), marrom, azul (**AZUL MACAÚBAS**) e amarelo (**AMARILHO SÃO TOMÉ**). Em Minas Gerais, as principais áreas produtoras situam-se nos municípios de São Tomé das Letras e Luminárias, localizados na região sul do estado. Nestas áreas, parte da produção já alcança os mercados europeu e americano. Nas regiões de Ouro Preto, Mariana e Diamantina, verifica-se uma produção irregular e voltada para atender as demandas do mercado interno.

(3). **MÁRMORES** – Os mármore, assim como os quartzitos, têm suas feições texturais fortemente influenciadas por transformações metamórficas. Estas rochas, em função do grau metamórfico, apresentam granulação variando de fina até média. Com qualificação ornamental ou de revestimento, destacam-se os tipos de grão fino, com larga aplicação no setor estatuário (**BIANCO CARRARA VENATO**, **BIANCO STATUARIO VENATINO**, **BIANCO STATUARIO**, etc.). Dentre os diversos tipos disponíveis no mercado, podem ser destacados os carbonáticos sedimentares (**BEGE BAHIA**, **CREMA MARFIL**, etc.) e os

metamórficos propriamente ditos (**AURORA PÉROLA, BRANCO EXTRA**, etc.).

Os mármoreos podem mostrar grande variedade de cores com diferentes tons variando entre o amarelo, o rosa, o salmão, o marrom, e outros. No Estado de Minas Gerais destaca-se, atualmente, a produção de mármoreos nas regiões de Cachoeira do Campo, (**MÁRMORE AURORA PÉROLA, JACARANDÁ**, etc.) e de Campos Altos (**MÁRMORE PRETO FLORIDO E VERDE JASPE**).

Para a região nordeste do Brasil, com destaque para a compreendida entre a Paraíba e a Bahia, verifica-se a frequente utilização de blocos de calcário, enquanto material ornamental, ou como peça de cantaria, do final do século XVI até o XVIII. Esta utilização pode ser constatada em diversas construções, monumentos ou residências, em cidades como Olinda, João Pessoa e Recife. Nas construções recentes, não se observa mais este tipo de aplicação para os calcários, ainda que muito abundantes.

(4). **ARDÓSIAS** – Ardósias podem ser descritas como sendo rochas de granulação muito fina, constituídas essencialmente por minerais filosilicatos (sericita), que apresentam clivagem ardósiana e que resultam de transformações metamórficas de muito baixo grau.

Para a principal área considerada como de ocorrência de ardósias, destaca-se aquela situada entre a região de Sete Lagoas ao sul e Pirapora ao norte, no estado de Minas Gerais. Constata-se, a partir da análise petrográfica, que o metamorfismo não atingiu as condições mínimas para a transformação dos sedimentos ricos em minerais argiláceos em ardósias verdadeiras. Assim, embora não correspondam do ponto de vista da petrologia a ardósias típicas, estes materiais têm sido referenciados comercialmente como tal. A falta de regularidade na espessura de seus níveis, significando excesso de peso para as chapas, a presença de intercalações com composição quartzosa e métodos inadequados de extração, impedem aplicações destes materiais, enquanto material de cobertura e a obtenção de taxas mais altas de aproveitamento do material extraído.

Os materiais que afloram nesta área mostram grande variação de tonalidade, com o predomínio de tons esverdeados e acinzentados.

(5). **ESTEATITOS (PEDRA SABÃO) E SERPENTINITOS** – Da atuação de processos aloquímicos em rochas ultrabásicas e ultramáficas, tais como dunitos e peridotitos, resultam em modificações químicas e em transformações mineralógicas com substituição de olivinas e piroxênios primários por serpentinas, anfibólios, cloritas e carbonato. O produto destas transformações é o serpentinito. Em determinadas áreas, próximas à zonas de cisalhamento, estes serpentinitos são transformados em esteatitos (Pedra Sabão), a partir da reação da serpentina com a sílica, que resulta na formação do talco. Quando a rocha

contém quase somente talco, recebe a denominação de Pedra Talco e destina-se ao setor estatutuário.

No Estado de Minas Gerais, as principais áreas de ocorrência e extração destas rochas encontram-se localizadas nas regiões de Viriato, Santa Rita de Ouro Preto, Congonhas do Campo e arredores de Ouro Branco.

Atualmente, grande parte dos esteatitos extraídos destina-se ao mercado interno e é utilizado para a confecção de diferentes itens de uso doméstico e decorativos. Parte ainda pequena da produção destina-se a confecção de lajeiras, que são exportadas para os mercados europeu e americano. O serpentinito tem sido utilizado como material de revestimento e não raro enfrenta a concorrência de produtos indianos e italianos.

No passado, estes materiais, em especial os esteatitos, foram amplamente utilizados nas construções residenciais e nas edificações de importantes monumentos. São inúmeras as igrejas de Minas Gerais com pisos de serpentinito e detalhamento em pedra sabão.

Com frequência, estas rochas são referenciadas comercialmente de forma incorreta como sendo granitos. A crescente demanda por estes materiais e a significativa participação de serpentinitos de origem indiana, italiana, ou outra, no mercado brasileiro (**GRANITO VERDE RAJASTHAN, GRANITO VERDE ALPI, VERDE GUATEMALA**, etc.), justificam o desenvolvimento da pesquisa para estes materiais.

Classificação segundo a textura:

Dentre os tipos de rochas ornamentais e de revestimento, os granitos comerciais são os únicos a apresentarem uma subdivisão com base nos arranjos texturais e podem ser classificados como:

(1). Granitos isotrópicos, envolvendo os granitos verdadeiros, bem como outras rochas com distribuição homogênea dos seus constituintes minerais. Com base na petrografia, destacam-se neste grupo os chamados granitos com composições próximas ou afastadas do chamado *minimum melting*. (**GRANITO BRANCO COTTON, GRANITO ROSA IRIS**, etc.). Os tipos charnockíticos (**GRANITO VERDE PAVÃO, GRANITO VERDE UBATUBA**, etc.), os diferentes tipos de sienitos (**GRANITO ASA DE BORBOLETA, GRANITO MARROM CAFÉ**, etc.), os anortositos (**GRANITO AZUL DA NORUEGA**, etc.), os gabros (**GRANITO BLACK DIAMOND**, etc.) e basaltos integram este grupo.

(2). Granitos movimentados ou anisotrópicos, representados por tipos petrográficos tais como os gnaisses, orto (**GRANITO GIALLO CALIFORNIA**, etc.) ou paraderivados (**GRANITO VERDE EUCALIPTO**, etc.), por rochas migmatíticas (**GRANITO VERDE SÃO FRANCISCO**, etc.) e algumas metavulcânicas ou granitos, milonitizados (**GRANITO MADEIRA, GRANITO OLHO DE POMBA, GRANITO PORTO ROSA, GRANITO PORTO BELO**, etc.) ou não. Nestes tipos, a distribuição preferencial de seus constituintes minerais confere o caráter movimentado a estas rochas.

Assim como para os granitos movimentados, para as demais rochas ornamentais e de revestimento, a existência de estruturas lineares e planares, bem como outras descontinuidades, deverá exercer grande influência nos parâmetros de caracterização tecnológica. A existência destas descontinuidades implicará na redução da resistência à flexão e à compressão, determinando significativos aumentos nas taxas de porosidade e de absorção. Para compensar estas interferências recomenda-se o estudo de cortes com direções apropriadas.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os diversos tipos de rochas ornamentais e de revestimento podem ser diferenciados através de suas propriedades tecnológicas, cuja caracterização envolve a realização de análises petrográficas, determinação dos índices físicos, com ênfase para os índices de porosidade e de absorção, determinação da resistência à compressão, determinação da resistência à flexão, determinação da resistência ao desgaste, determinação do grau de alterabilidade e a resistência a impactos. Uma correta aplicação destes materiais (Oliveira 1998; Oliveira & Costa 1998^b; Porto 1999; Bezerra 1999; Campello 2000) só será possível a partir do conhecimento destas propriedades.

Quando são comparados os dados tecnológicos de alguns quartzitos com aqueles obtidos para rochas granitoides, constata-se que os primeiros podem ter, sob certas condições, as mesmas aplicações indicadas para os segundos. Em função destas características alguns quartzitos chegam a alcançar maior valorização no mercado de ornamentais e de revestimento. Os quartzitos azuis, ao contrário dos do tipo São Tomé, têm dados comparáveis ou melhores que os da grande maioria dos granitos, isotrópicos ou movimentados.

Com detalhamento de campo, petrográfico, químico e com determinação de índices físicos (Oliveira & Costa 1997; Oliveira 1998; Oliveira & Costa 1998^a; Costa et al. 1998. Bezerra et al. 1998; Bezerra 1999; Costa 1999b; Costa et al. 2000; Maciel et al. 2001; Pimenta 2002; Pimenta & Costa 2001) e, mais recentemente, com caracterização tecnológica completa (Campello 2000), foram estudados alguns maciços de granitos mineiros, aflorantes nas regiões de São Francisco de Paula (Granito Verde São Francisco), Piracema (Granito Branco Piracema, Granito Cinza Piracema e Granito Branco Nepal), Cláudio (Granito Kinawa Tog e Granito Kinawa Light), Marilândia (Granito Rosa Raissa), Dorés de Guanhanês (Granito Giallo Califórnia), Candeias (Granito Verde candeias), Passa Tempo (Granito Verde Savana, Granito Verde Atlântico e Granito Verde Prata) e Morro do Ferro/Oliveira (Granito Verde Van Gogh), Itapecerica (Granito Vermelho Cobra).

Mármoreos da região de Cachoeira do Campo (Bezerra et al. 1998; Bezerra 1999; Bezerra & Costa 2000), quartzitos das regiões de São Tomé das Letras (Souza & Santos 1999; Souza et al. 1999; Costa 1999a) e Diamantina (Oliveira & Cerceau 1998;

Teixeira & Melo 2000) tiveram suas características igualmente determinadas.

CONCLUSÕES

Após algumas poucas décadas de estudos, ainda é muito significativo o nosso desconhecimento a cerca do potencial do país, em termos de materiais pétreos com possibilidade de aplicação no setor das ornamentais e de revestimento. Apenas uma parte infinitesimal deste grande volume de materiais passou já pelos ensaios tecnológicos.

Um completo conhecimento dos parâmetros e da extensão dos processos geológicos envolvidos na gênese das rochas com aplicação no setor das ornamentais e de revestimento, terá sempre grande importância, seja para a fase de extração, seja para os processos finais de beneficiamento destes materiais.

Fica demonstrada a grande influência do grau metamórfico, da presença ou ausência de estruturas planares, da diversidade e conteúdos mineralógicos e das diversas estruturas que podem estar presentes nestas rochas, em termos do seu aproveitamento e de suas aplicações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais e ao Sindicato da Indústria de Mármoreos e Granitos no Estado de Minas Gerais, pelo suporte financeiro para a implantação do Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais do Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa-IGC/UFMG. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo suporte financeiro para o desenvolvimento de inúmeras pesquisas e pela concessão de bolsas de mestrado, estas obtidas no âmbito do Programa de Bolsas FAPEMIG/FIEMG-IEL. Ao Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de Minas Gerais - SINDUSCON e a todas às construtoras envolvidas com o desenvolvimento de nossos estudos. À Granibrás -Granitos do Brasil, à Indústria Brasileira de Granitos e Mármoreos-IBGM, nas pessoas de seus presidentes Srs. Corinho Guerra e João Nogueira, à EMINOSA-Empresa de Mineração Ltda, na pessoa de seu gerente geral, Geól. Paulo Akira Ono, à Empresa Granitos Nacionais Ltda-GRANASA, na pessoa de seu presidente, Sr. Weverton Robson, à Marilan - Mineração, na pessoa de seu diretor, Sr. Sérgio Lamounier; à SA - Sales Andrade Indústria e Comércio de Pedras Ltda, na pessoa de seu gerente geral, Sr. Marcelo Del Peloso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, F.N.M.; COSTA, A.G.; ARANHA, P. 1998. Ensaio Físicos em Rochas Ornamentais: Uma proposta de adequação da Norma NBR12766/1992(ABNT). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.315.

- BEZERRA, F.N.M. 1999. Mármore Ornamentais de Minas Gerais, novas Técnicas de caracterização e prospecção - Pedreira do Cumbi/Cachoeira do Campo. Dissertação de Mestrado - Degel/IGC-UFMG (inédita). 161p. e anexos.
- BEZERRA, F.N.M.; COSTA, A.G. 2000. Dolomite as a dimension stone - characterization and prospecting techniques. In: International Geological Congress, 31th, Abstracts Volume (CD-Rom) ...Rio de Janeiro. General Symposia: Geology of Mineral Deposits.
- CAMPELLO, M.S. 2000. Caracterização tecnológica de granitos ornamentais: montagem laboratorial e rotinamento para realização de ensaios. Dissertação de Mestrado - Degel/IGC-UFMG (inédita). 121p. e anexos.
- COSTA, A.G. 1999a. Condicionamento Estrutural, Textural e metamórfico de Quartzitos com Aplicação no Setor das Rochas Ornamentais. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, VII, Anais...Lençóis, SBG/Núcleo Bahia-Sergipe.
- COSTA, A.G. 1999b. Granitos ornamentais da região Sul de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, Anais...São Pedro, SBG/Núcleo São Paulo, p. 141.
- COSTA, A.G.; OLIVEIRA, S.F.de; MELO, E.L.; FREITAS J. R.L.de. 1998. Caracterização de quartzitos mineiros e suas aplicações no setor das rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.307.
- COSTA, A.G.; CAMPELLO, M.S.; PIMENTA, V.B. 2000. Rochas ornamentais e de revestimentos de Minas Gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil. Geonomos, 8 (1): 9-13.
- COSTA, A.G.; MACIEL, S.L. 2001. Granada-cianita xistos com aplicação ornamental: exemplos da cidade de Mariana, Minas Gerais. XI Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.
- COSTA, A. G.; MACIEL, S. L.; PIMENTA, V.B. 2001. Rochas ornamentais e de revestimento: exemplos de aplicações de esteatitos, quartzitos, clorita- e granada-cianita xistos em monumentos históricos de Minas Gerais. VII Simpósio de Geologia do Sudeste. Rio de Janeiro, RJ.
- MACIEL, S. L.; COSTA, A.G.; ROSIÈRE, C.A. 2001. Caracterização tecnológica dos esteatitos da região de Santa Rita de Ouro Preto, Acaiaca e Furquim e suas aplicações no setor da construção civil. Anais do XI Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.
- OLIVEIRA, E.S. & CERCEAU, W.A. 1998. Mapeamento geológico e caracterização de quartzitos ornamentais das regiões de Diamantina (a SW de Guinda) e Serro (Alvorada de Minas e Itapanhoacanga). Monografia de Graduação - Degel/IGC-UFMG (inédita). 105p.
- OLIVEIRA, S.F.de 1998. Caracterização petrográfica, estrutural e física de materiais com aplicação no setor de rochas ornamentais. Dissertação de Mestrado - Degel/IGC-UFMG (inédita). 123p. e anexos.
- OLIVEIRA, S.F.de; COSTA, A.G. 1997. Caracterização petrográfica e física de rochas com aplicação no setor de Rochas ornamentais. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5, Atas...Penedo, SBG, Núcleo Rio de Janeiro e São Paulo, p. 414-416.
- OLIVEIRA, S.F.de; COSTA, A.G. 1998^a. Relações entre a petrografia e os índices físicos de mármore, quartzitos e granitos ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.323.
- OLIVEIRA, S.F.de; COSTA, A.G. 1998b. Alterações de minerais e outros problemas relacionados aos materiais com aplicação no setor das rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais...Belo Horizonte, SBG 1, p.301.
- PIMENTA, V.B.; COSTA, A.G. 2001. Sistemática de investigações geológicas na exploração e caracterização de rochas ornamentais com aplicação na região de Dores de Guanhões. Anais do XI Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.
- PIMENTA, V. 2002. Levantamento de técnicas de mapeamento para maciços granitóides com potencial para o setor de rochas ornamentais, com ênfase para as rochas da região de Dores de Guanhões-MG. Dissertação de Mestrado - Degel/IGC-UFMG (inédita). 110p. e anexos.
- PORTO, M.T.G. 1999. Aplicação de rochas ornamentais em obras civis. Monografia de Especialização - Degel/IGC-UFMG (inédita). 116p. e anexos.
- SOUZA, G.G. & SANTOS, M.R.C. dos. 1999. Quartzitos de São Tomé das Letras - MG: Enquadramento geológico, caracterização tecnológica e análise ambiental. Monografia de Graduação - Degel/IGC-UFMG (inédita). 129p. e anexos.
- SOUZA, G.G.; SANTOS, M.R.C. de; COSTA, A.G. 1999. Quartzitos da região de São Tomé das Letras: caracterização tecnológica e análise ambiental. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, Anais...São Pedro, SBG/Núcleo São Paulo, p.155.
- TEIXEIRA, M.H. & MELO, E.L. 2000. Mapeamento geológico com ênfase para os quartzitos com aplicação ornamental e de revestimento das áreas: Córrego Canudos e a montante do Córrego das Pedras, na região de Diamantina - MG. Monografia de Graduação - Degel/IGC-UFMG (inédita). 66p. e anexos.

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO EMPREGO DO MÁRMORE DE ZABELÊ-PB COMO MATERIAL ORNAMENTAL

Júlio César de Souza¹, José Lins Rolim Filho¹ e Belarmino Barbosa Lira¹

¹Eng^o de Minas, DSc. Eng^a -Depto Eng^a de Minas/Centro de Tecnologia e Geociências/ UFPE – Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – 50.670-901 – E-mail: jcsouza@npd.ufpe.br

RESUMO

Neste trabalho, são apresentados os resultados preliminares de caracterização tecnológica para fins ornamentais das ocorrências de mármore da região de Zabelê – PB, visando o mercado de rochas ornamentais como uma alternativa econômica de valorização do material, atualmente explorado para fabricação de cal hidratada. Mostram-se alguns aspectos técnicos sobre a aplicação da matéria-prima na fabricação de cal hidratada, por processos artesanais e da perda de valor potencial do material disponível na pedra.

O Projeto foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco (Depto. de Engenharia de Minas - DEMINAS) e o SEBRAE com apoio da Prefeitura de Zabelê e o governo do Estado da Paraíba. No projeto está apresentado o resultado final do estudo de pré-viabilidade técnico-econômica do mármore de Zabelê como material ornamental bem como as sugestões para implantação de um pólo de extração de mármore na região.

INTRODUÇÃO

O município de Zabelê situa-se no chamado Cariri Paraibano, a cerca de 320 km da cidade de João Pessoa e 20 km de Monteiro. A região pertence a zona fisiográfica do Sertão, caracterizada pela vegetação típica (umbuzeiro, algaroba, maçameira, etc) e clima semi-árido com precipitações médias de 400 mm/ano, evidenciando uma região bastante seca, com população em torno de 2.500 habitantes, tendo sua principal atividade econômica a extração e o beneficiamento de calcário para produção de cal, seguida da caprinocultura.

O projeto técnico-econômico das atividades extrativas de mármore na região de Zabelê surgiu da necessidade levantada junto a comunidade de Zabelê – PB de estudar uma forma mais eficiente para utilização das ocorrências de mármore da região. Essas ocorrências eram utilizadas basicamente para a produção de cal hidratada, produto esse de baixo valor agregado e obtido a partir de métodos rudimentares de operação.

A partir dessa constatação realizou-se uma primeira visita técnica onde se verificou que o mármore presente na região possuía um potencial muito interessante para utilização como material para fins ornamental, produto esse com muito maior valor agregado e que possibilita um incremento muito grande em termos econômico e geração de renda e trabalho para a população local.

Dessa forma foi elaborado um projeto de avaliação técnica para agregação de valor econômico ao bem mineral da região de Zabelê, projeto esse incentivado de maneira incisiva pelo SEBRAE/PB com apoio da Prefeitura Municipal de Zabelê e Governo do Estado da Paraíba. O resultado dessa parceria foi o levantamento das principais ocorrências de mármore na região, definição dos tipos comerciais possíveis de obtenção e caracterização tecnológica do material para fins ornamentais e de revestimento.

Os trabalhos foram realizados em etapas que constaram de 3 (três) visitas técnicas aos locais de exploração do depósito, para definição das coordenadas geográficas das principais ocorrências mineralizadas, coleta de amostras dos diversos tipos de mármore existentes e realização de mapeamento planimétrico da área mais favorável a extração de blocos de mármore tipo ornamental. Os estudos de laboratório constaram de realização de ensaios de polimento, caracterização tecnológica para fins ornamentais de revestimento e, elaboração de mapas de localização das ocorrências e de contorno da área mais favorável para iniciar a exploração de mármore.

A partir desses levantamentos técnicos foi sugerido pelo grupo de trabalho a abertura de duas possibilidades de ação:

1. Negociação com empresas já tradicionais do setor de rochas ornamentais para a obtenção de blocos maiores para desdobramento em chapas para marmoraria, sendo que já existe o interesse de pelo menos 3 (três) empresas em negociar a área para extração de blocos do material.
2. Criação de microempresas na região para a obtenção de bloquetes (blocos menores) na lavra, visando a produção de ladrilhos padronizados de mármore. Para esse último objetivo foi apresentada uma proposta de montagem de uma máquina policorte multidiscos para implantação de pequenas industriais no local.

DIAGNÓSTICO INICIAL DO SETOR

O diagnóstico inicial das atividades de extrativas de mármore na região de Zabelê foi executado através de visitas de geólogo do SENAI-PE que, após avaliação inicial sugeriu a criação de grupo técnico especializado na área de mineração, grupo este composto dos professores Dr. José Lins Rolim Filho, Dr. Belarmino Barbosa Lira e Dr. Júlio César de Souza, lotados no Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco. Esse grupo técnico realizou um segundo diagnóstico onde foi possível detectar a potencialidade geológica do depósito para utilização do material ocorrente na região como produto ornamental para a indústria da construção civil.

De acordo com o levantamento realizado na região, pela equipe técnica do trabalho, ficou evidenciado, inicialmente, a seguinte situação:

- A produção rudimentar de cal hidratada é a principal atividade econômica do município;
- As técnicas de lavra e beneficiamento de cal hidratada são extremamente rudimentares e realizadas com uso de metodologias de trabalho, tecnologias e equipamentos obsoletos;
- O valor agregado ao produto final é muito baixo, gerando, apenas, pequena renda para os agentes econômicos envolvidos no processo;
- Existe uma carência muito grande de postos de trabalho e oportunidades de negócio na região;
- Existem ocorrências significativas de rochas carbonatadas (mármore), de grande potencial ornamental, que estão sendo exploradas de maneira ineficiente e com obtenção de valor agregado muito abaixo de sua potencialidade;
- As ocorrências de mármore são praticamente desconhecidas em sua extensão vertical não se tendo idéia da real quantidade de material disponível;
- Existe grande carência em termos de formação de mão-de-obra especializada nas atividades de lavra e beneficiamento do bem mineral existente, tanto no aspecto de obtenção de cal hidratada, como também e, principalmente na obtenção de mármore como rocha ornamental.

Dentro desse panorama as principais necessidades levantadas pelo grupo técnico foram:

- Execução de um levantamento "in loco" das principais ocorrências de mármore a fim de ter-se uma idéia geral do tamanho do jazimento bem como dos possíveis tipos comerciais (textura e cores);
- Implantar uma nova mentalidade de trabalho na região visando fomentar a idéia de agregar-se valor ao material através da obtenção de material ornamental;
- Realizar ensaios de caracterização tecnológica e polimento determinando-se a

viabilidade técnica de obtenção de material ornamental;

- Pesquisar empresas no setor de rochas ornamentais para verificar o nível de atratividade do material existente na região;
- Verificar a situação de legalidade das áreas de ocorrência em relação no Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM /MME;
- Avaliar o nível de qualificação da mão-de-obra local e definir um plano de treinamento visando a aplicação de novas tecnologias de lavra e beneficiamento do bem mineral;
- Aporte de recursos financeiros para alavancar as operações de lavra e beneficiamento bem como a implantação de micro-empresas na área para a produção de blocos e/ou bloquetes para fabricação de ladrilhos de mármore ornamental;
- Desenvolver um plano de aproveitamento econômico das ocorrências de mármore da região com conseqüente implantação de novas tecnologias de lavra e beneficiamento, aprimoramento da mão-de-obra local bem como aumento do valor agregado ao produto final.

TECNOLOGIA PROPOSTA

Para que se possa efetivamente otimizar a atividade econômica do setor mineral do município e obter-se um aumento expressivo do valor agregado ao bem mineral da região foi proposto o redirecionamento em caráter de urgência da produção atual para a obtenção de mármore ornamental, deixando-se para a produção de cal hidratada apenas os rejeitos dessa atividade principal. Para chegar-se a esse fim, sugeriu-se trabalhar em duas frentes:

NA LAVRA

Realizou-se o estudo técnico do jazimento e elaborou-se projeto para implantação de técnicas de extração de rochas ornamentais para o mármore da região, o que requereu o desenvolvimento das seguintes atividades:

- Levantamento bibliográfico sobre as ocorrências de mármore na região, na busca de dados químicos, mapas geológicos, fotografias aéreas, dados de perfilagem de furos de poços de água, etc... a fim de reunir-se a maior quantidade de informações técnicas existente, facilitando um melhor conhecimento do bem mineral.
- Posicionamento das áreas de maior potencial ornamental com utilização de GPS (*Global Positioning System*) de forma a elaborar-se mapas de campo, que serviram para definição dos locais onde foram realizados os trabalhos de estudo detalhado.
- Execução de levantamento planimétrico visando o detalhamento espacial das áreas

selecionadas como promissoras, detectadas e selecionadas na etapa anterior.

- Mapeamento geológico-estrutural na escala 1 : 1.000, onde foram levantados aspectos de continuidade lateral do maciço rochoso, relação de contato com as encaixantes, visando definir a quantidade aproximada de material disponível para a lavra (cubagem do depósito) e localização espacial dos mesmos.
- Desenvolvimento de projeto de lavra para a obtenção de material ornamental, envolvendo a aplicação de técnicas de extração de rochas carbonatadas a céu aberto com a utilização de metodologias e tecnologias tradicionais para extração de blocos ornamentais.
- Planejamento da lavra, envolvendo a estimativa das metas de produção, adequação e dimensionamento de equipamentos de lavra, rendimentos econômicos na produção de mármore ornamental e quantidade de material de rejeito para ser aproveitado como matéria-prima na produção de cal hidratada.

A lavra prevista será desenvolvida em bancadas baixas, com cerca de 2 m de altura, largura de 4,5 m e comprimento variável segundo a continuidade da jazida. Desta forma tem-se a possibilidade de retirar-se 2 blocos deitados a cada 3,5 m de extensão lateral na bancada. A configuração geométrica da pedreira está representada na Figura 1.

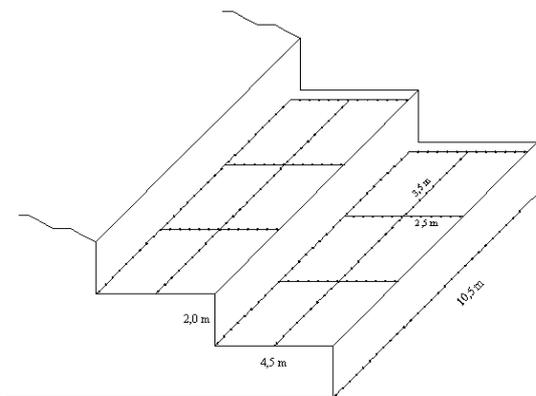


FIGURA 1 – Configuração das bancadas para a lavra de mármore na pedreira

No Beneficiamento

Na busca de melhorias no beneficiamento atual de cal hidratada e com base nos parâmetros diagnosticados foi sugerida a realização dos seguintes ensaios tecnológicos:

- Caracterização do minério bruto, produtos comercializáveis e finos.
- Otimização dos processos de cominuição e classificação em escala piloto do Depto. de Eng. de Minas/UFPE.

- Otimização do processo de calcinação e hidratação, onde atualmente a operacionalização do forno vertical existente está inoperante.
- Avaliação das possibilidades de aproveitamento dos finos provenientes do processo.

Em conjunto com o desenvolvimento da atividade principal de obtenção de mármore ornamental para uso nobre na construção civil foi avaliada a possibilidade local de implantação de pequenas indústrias beneficiadoras de mármore para produção de ladrilhos padronizados. Para tanto foram realizados os seguintes estudos:

- Avaliação do grau de polimento e lustro possível de ser obtido no material;
- Avaliação do processo de corte do mármore em chapas;
- Dimensionamento de uma pequena unidade de industrialização de mármore para obtenção de ladrilhos padronizados; e
- Avaliação com empresários do setor de rochas ornamentais do potencial de utilização dos produtos de mármore para fins ornamentais (pré estudo de mercado).

RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos levantamentos realizados “in loco” e dos ensaios de caracterização tecnológica feitos no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco chegou-se aos seguintes resultados principais:

- Verificou-se a existência de um significativo depósito de mármore tendo grandes possibilidades de utilização no mercado de rochas ornamentais com reservas geológicas suficientes para muitas décadas de operação;
- Observa-se nessas ocorrências pelo menos 5 (cinco) tipos comerciais viáveis para exploração de blocos e bloquetes de mármore ornamental;
- Realizou-se a caracterização tecnológica do material verificando-se sua plena viabilidade técnica para uso como material ornamental na indústria da construção civil;
- Obteve-se resultados de polimento excelentes com valores de algumas amostras superiores a média padrão nacional e muito próximos a média apresentada por mármore importados;
- Verificou-se a plena viabilidade técnica-econômica de implantação de pedreiras de mármore com a utilização de bancadas baixas e obtenção de blocos de padrões comerciais, visando, através de máquinas

- convencionais (teares), a obtenção de chapas para marmoraria;
- Verifica-se que as áreas de ocorrência estão legalizadas para fins de pesquisa mineral no DNPM, sendo necessário à execução da pesquisa geológica e elaboração do relatório final de pesquisa para obtenção da portaria de lavra, junto ao DNPM/MME, que permite a lavra de substâncias minerais;
- Elaborou-se uma proposta de desenvolvimento e montagem de um protótipo industrial de uma máquina policorte multidiscos de pequeno porte para fabricação de ladrilhos de mármore a partir de pequenos bloquetes, possibilitando dessa forma a implantação de pequenas empresas no município e utilização de mão-de-obra local.

- Valor da produção como bloco de mármore: $6,24 \text{ m}^3 \times 300 \text{ R\$/m}^3 = \text{R\$ } 1.872,00$
- Aumento no valor agregado $\Rightarrow 1.872,00 / 840,00 = 122,85\%$

2. Fabricação de ladrilhos:

- 1 ladrilho nas dimensões $40 \times 40 \times 1,5 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}^2 = 6,48 \text{ kg}$
- Valor atual da cal hidratada: $0,05 \text{ R\$/kg}$
- Valor da produção como cal hidratada: $6,48 \text{ kg} \times 0,05 \text{ R\$/kg} = \text{R\$ } 0,32$
- Valor aproximado do ladrilho de mármore nacional: $25 \text{ R\$/m}^2$
- Valor da produção como ladrilho de mármore: $0,16 \text{ m}^2 \times 25 \text{ R\$/m}^2 = \text{R\$ } 4,00$
- Aumento no valor agregado $\Rightarrow 4,00 / 0,32 = 1.150,00\%$

CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA E ECONÔMICA PARA A REGIÃO

As principais contribuições tecnológicas sugeridas no projeto referem-se a implantação de novas tecnologias de lavra e beneficiamento para o mercado de rochas ornamentais, redirecionando dessa forma, a produção atual da região, que resume-se a pequenos garimpos rudimentares de pedras de cal. Essa mudança das atividades de mineração exigirá a aquisição de novos equipamentos de lavra, desenvolvimento de novas metodologias de trabalho e em conseqüência um aumento muito grande no conhecimento tecnológico da região.

Além da contribuição tecnológica na etapa de lavra tem-se a possibilidade de implantação de pequenas empresas para produção de ladrilhos de mármore para fins ornamentais e de revestimento o que resultará num grande aporte de tecnologia para corte e polimento do produto final. Esse incremento tecnológico terá como conseqüência direta à necessidade de treinamento de mão-de-obra especializada, aumentando dessa forma a qualificação profissional e a geração de emprego e renda dos moradores da região.

O aumento do valor agregado na produção do produto local, através da obtenção de mármore ornamental será de grande monta, permitindo a obtenção de um produto final nobre e de larga colocação no mercado nacional. Considerando-se o preço médio de venda no mercado nacional de rochas ornamentais pode-se chegar as seguintes estimativas de aumento do valor agregado à produção:

1. Obtenção de blocos de mármore:

- 1 bloco de mármore com dimensões $1,50 \times 1,60 \times 2,60 \text{ m} = 6,24 \text{ m}^3 = 16,8 \text{ ton}$
- Valor atual da cal hidratada: $3,0 \text{ R\$/saco de } 60 \text{ kg} \Rightarrow 0,05 \text{ R\$/kg}$
- Valor da produção como cal hidratada: $16,8 \text{ ton} \times 0,05 \text{ R\$/kg} = \text{R\$ } 840,00$
- Valor aproximado do bloco de mármore nacional = $300,00 \text{ R\$/m}^3$

RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL E ESTÉTICA

Os mármore amostrados e analisados no Laboratório de Rochas Ornamentais do DEMINAS/UFPE foram agrupados em 6 (seis) grupos principais em termos de textura e padronização estética, de acordo com as características cromáticas a aparência das amostras polidas.

Grupo 1) Mármore brancos e amarelados (Figura 2):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármore mais claros, que não apresentam minerais escuros em sua matriz textural e com coloração relativamente homogênea.



FIGURA 2 - Mármore amarelado

Grupo 2) Mármore brancos com pigmentação escura (Figura 3):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármore de matriz clara, que apresentam minerais escuros disseminados na forma de pequenos pontos

dentro da matriz textural e com coloração relativamente homogênea.



FIGURA 3 - Mármore branco com pigmentação escura

Grupo 3) Mármores cinza claro à escuro (Figura 4):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármores de coloração acinzentada com tonalidades desde cinza claro até cinza escuro, que não apresentam minerais escuros em sua matriz textural e com coloração relativamente homogênea.



FIGURA 4 - Mármore cinza claro à escuro

Grupo 4) Mármores cinza com pigmentação escura (Figura 5):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármores de coloração acinzentada, normalmente de tonalidade mais clara, que apresentam minerais escuros disseminados na forma de pequenos pontos dentro da matriz textural e com coloração relativamente homogênea.



FIGURA 5 - Mármores cinza com pigmentação escura

Grupo 5) Mármores brancos com listras escuras (Figura 6):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármores que apresentaram textura em camadas alternadas de minerais claros e escuros conferindo uma aparência de matriz branca com listras escuras.

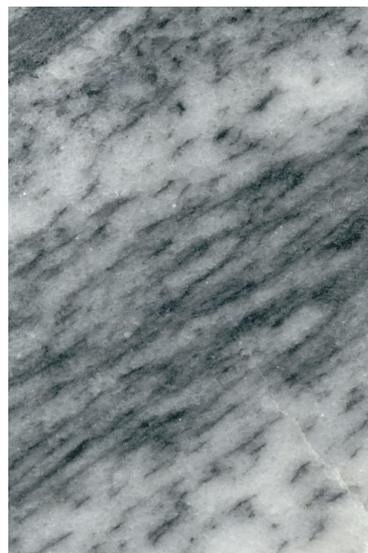


FIGURA 6 - Mármores brancos com listras escuras

Grupo 6) Mármores cinza com listras claras (Figura 7):

Nesse grupo foram agrupados aqueles mármores que apresentaram textura em camadas alternadas de minerais acinzentados e claros conferindo uma aparência de matriz cinza claro com listras claras.



FIGURA 7 - Mármores cinza com listras claras

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os mármores amostrados foram analisados no Laboratório Caracterização de Rochas Ornamentais do Depto. de Engenharia de Minas/UFPE obtendo-se os resultados mostrados nas tabelas a seguir.

TABELA 1 - Resultados dos Índices Físicos

ROCHA	γ Seco	γ Saturado	Porosidade	Absorção
Mármore branco	2,717 + 0,006	2,720 + 0,006	0,281 + 0,052	0,104 + 0,019
Mármore escuro	2,811 + 0,006	2,819 + 0,005	0,789 + 0,128	0,281 + 0,046
Mistura mármores claros	2,722 + 0,030	2,726 + 0,029	0,346 + 0,0109	0,127 + 0,041

Mármores brancos: esses mármores apresentaram excelente qualidade em termos de índices físicos com valores de porosidade e absorção superiores a média dos mármores nacionais, aproximando-se dos valores obtidos para granitos e mármores importados. Os valores médios são porosidade: 0,3% e absorção: 0,1%.

Mármores escuros: esses mármores apresentaram qualidade muito boa em termos de índices físicos, inferiores aos resultados dos mármores brancos mas superiores a maioria dos mármores nacionais. Os valores médios são porosidade: 0,8% e absorção: 0,3%.

TABELA 2 – Resultados dos Ensaios de Desgaste Amsler

ROCHA	Desgaste a 500 m	Desgaste a 1.000 m
Mármore branco	0,538 ± 0,138 mm	1,123 ± 0,030 mm

Os resultados dos ensaios de desgaste Amsler são considerados excelentes para rochas carbonatadas que possuem muito menor resistência mecânica de abrasão que as rochas silicáticas. Para o mármore em questão o desgaste foi de cerca de 40% maior do que em rochas silicáticas o que nos leva a conclusão de que o material é apropriado para a utilização em pisos de pequena a média circulação.

TABELA 3 – Resultados de Resistência Mecânica à Compressão e à Tração por Flexão

ROCHA	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
Mármore branco	49,89	11,56

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica são considerados satisfatórios para o tipo de rocha ensaiada (rocha carbonática) e estão acima dos valores limites encontrados na literatura técnica que são 37 MPa para compressão e 5 MPa para tração.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE BRILHO OBTIDA NO POLIMENTO

A avaliação da qualidade obtida no polimento das amostras foi realizada através de ensaios de polimento com máquina manual no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais do Deto. de Engenharia de Minas/UFPE.

As amostras coletadas foram cortadas em chapas de mão com 2 cm de espessura e após receberam polimento com máquina manual marca BOSH através da seguinte seqüência de abrasivos:

220 => 400 => 800 => 1000 => 1500 => 3500 => 6000 => lustro final

Nos desbastes com grana de 220 a 1500 foram utilizados rebolos com abrasivos tipo carbureto de silício e cimento magnesiano. Para os abrasivos de grana 3500 a lustro final foram utilizados abrasivos diamantados e cimento cerâmico.

A determinação da qualidade de polimento final foi realizada utilizando-se reflectômetro tipo Glossmeter modelo IG – 330 . As amostras foram agrupadas segundo o grau de reflectância obtido tendo-se como padrões de avaliação a seguinte tabela:

TABELA 4 - Padrões de Avaliação da Qualidade de Polimento

Grau de reflectância	Qualidade de polimento
< 50	Insatisfatória
50 – 60	Média
60 – 70	Satisfatória
70 – 90	Muito boa
> 90	Excepcional

Os resultados obtidos nos ensaios de polimento foram excelentes obtendo-se amostras de rocha polida com padrão internacional mesmo utilizando-se o polimento manual. As amostras de maior potencialidade econômica mostraram graus de polimento aceitável para os mercados nacional e internacional sendo que, em escala industrial, deve-se adicionar os abrasivos de grãos 64; 120; 600; 1200; 1800 e retirar-se os abrasivos de grãos 3500 e 6000 substituindo-os por abrasivos de lustro inicial para mármore claros.

A média dos valores médios obtidos nos ensaios foi de 54 pontos com desvio padrão de 16 pontos. A média dos maiores valores obtidos nos ensaios foi de 68 pontos com desvio padrão de 18 pontos. Considerando um brilho satisfatório a partir de 60 pontos e que as amostras foram polidas manualmente conclui-se que o mármore em questão mostra boas condições de polimento podendo ser utilizado sem restrições para fabricação de ladrilhos e chapas para marmoraria.

CONCLUSÕES

- As ocorrências de mármore da região estão sendo exploradas de maneira equivocada, perdendo-se grande parte das possibilidades de valorização do material, através da produção de cal hidratada, material de baixíssimo valor agregado, quando comparado com a produção de rocha ornamental.
- Há necessidade de conclusão urgente da pesquisa geológica e elaboração do Relatório Final de Pesquisa junto ao DNPM, com riscos de perda das áreas de mármore caso seja expirado o prazo estipulado no alvará de pesquisa.
- Os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica mostram que o material atende aos requisitos para aplicação como revestimento e possui características similares aos mármore importados em termos de qualidade de polimento e características tecnológicas.
- O material existente pode ser utilizado para produção de ladrilhos para revestimento na indústria da construção civil com elevação da renda da comunidade e geração e novos postos de trabalho.
- Ressaltamos a integridade física e estrutural do maciço rochoso na jazida após 3 ou 4 metros de profundidade, a beleza estética, o fechamento obtido no polimento e a granulometria submilimétrica dos cristais, o que possibilita a obtenção de blocos e chapas com boa capacidade escultural.
- Existe a possibilidade de fazer-se uma parceria com empresas do setor de rochas ornamentais interessadas na exploração de blocos de mármore de forma a destinar a comunidade local os rejeitos de lavra para obtenção de cal hidratada e os bloquetes menores, que não são viáveis ao desdobramento em pequenas máquinas

convencionais, para a obtenção de ladrilhos através de micro empresas locais. Esses materiais brutos seriam entregues ao proprietário do solo a custo zero para formação de renda e capitalização dos futuros empreendimentos de empresas de beneficiamento.

- Elaborou-se um projeto junto ao SEBRAE-PB para desenvolvimento e montagem de uma máquina policorte multidiscos para ser implantada em pequenas empresas locais para produção de ladrilhos padronizados destinados ao mercado interno e geração de renda na comunidade local.
- Deve-se investir na elaboração de um plano de desenvolvimento que contemple o planejamento das atividades extrativas na comunidade, direcionando-o para a obtenção de material ornamental e que privilegie a formação de mão-de-obra local para ocupar os postos de trabalho na lavra e beneficiamento de mármore. Para a implantação dessa atividade econômica na região é mister que se tenha fórmulas para financiamento dos empreendimentos locais em função da pequena capacidade financeira da comunidade.
- Elaborou-se um plano de negócio com indicação dos investimentos necessários nas atividades de lavra de blocos para desdobramento em máquinas convencionais e de beneficiamento de bloquetes para produção de ladrilhos de mármore com indicação dos custos de capital, custos operacionais, rendimentos, fluxo de caixa e definição dos critérios de decisão financeiros.

BIBLIOGRAFIA

- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais/Centro de Tecnologia Mineral – Rochas Ornamentais no Século XXI – Bases par um política de desenvolvimento sustentável das exportações brasileiras. Rio de Janeiro, CETEM/ABIROCHAS, 2001. 160p.
- CEDIC/SIC-RS (1987). Perfis oportunidades de investimento: exploração industrial de granito. Porto Alegre. 78 pp.
- Chiodi F^o, C. (1995). Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. CETEM/CNPq. Rio de Janeiro. 75 pp.
- Pisani, R. M. (1996). Curso sobre as tecnologias e gestão econômica da empresa de beneficiamento. Seminário Itinerante sobre Gestão Econômica da Empresa de Mármore e Granito. Minas Gerais e Bahia. Março de 1996. SENAI-IICE. 145 pp.
- Souza, J. C., Lira, B. B. & Rolim F^o, J. L. (2002). Relatório final do projeto PATME: Otimização e aproveitamento econômico das jazidas de mármore da região de Zabelê - PB. SEBRAE-PB. João Pessoa. 11pp.

Souza, J. C., Lira, B. B. & Rolim Fº, J. L. (2002).
Relatório técnico: Jazidas de mármore de Zabelê -
PB. SEBRAE-PB. João Pessoa. 17pp

AVALIAÇÃO DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO NORDESTE ATRAVÉS DE SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Eng^o de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT
ABIROCHAS – Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Bairro Aldeota – 60.120-002 – Fortaleza-CE
Fone: (85) 246-2600 Fax: (85) 246-0262 E_mail: abirochas@secrel.com.br

RESUMO

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

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

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

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapideas, rochas dimensionadas e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral; quanto as edificações, nesse caso, destacam-se os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas soleiras, etc.

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente classificados em granitos (rochas silicáticas) e mármores (rochas carbonatadas), que perfazem cerca de 80% da produção mundial. Embora esta classificação nem sempre, em termos geológicos, seja correta, haja visto outras rochas vêm sendo utilizadas ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos, conglomerados, também se destacam setorialmente.

O conhecimento das propriedades físicas, físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como rochas ornamentais e de revestimento são fatores econômicos que influenciam na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material.

Conhecendo-se as condições ambientais as quais os revestimentos estarão sujeitos e efetuando-se uma análise das características dos materiais disponíveis, pode-se reunir valiosos subsídios para a seleção daqueles que melhor se adequem aos requisitos do projeto pretendido.

As características tecnológicas das rochas, bem como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidos através de análises e ensaios executados, segundo procedimentos rigorosos, normalizados por entidades nacionais e internacionais.

A caracterização tecnológica deve ser realizada logo na etapa da pesquisa mineral e nessa fase já se deve ter conhecimento das características do material e da aplicação para o qual os produtos obtidos servirão como rocha ornamental e de revestimento em edificações, arte funerária, trabalhos especiais e/ou estruturais, dentre outros casos.

Os principais ensaios realizados pelos diversos países participantes da produção e comercialização de rochas ornamentais e de revestimento, através de procedimentos padronizados por órgãos normalizadores, constando como itens obrigatórios para balizar os campos de aplicação desses materiais são: Petrografia, Índices Físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água), Desgaste Amsler, Resistência à Compressão Uniaxial, Resistência à Flexão (módulo de ruptura), Coeficiente de Dilatação Térmica Linear, Resistência ao Impacto, Congelamento/Degelo e Alterabilidade.

O presente trabalho restringe-se às rochas ornamentais silicáticas do Nordeste, Brasil, onde foram estudados cerca de 101 (cento e um) diferentes tipos de granitos do Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE e RN) e os resultados obtidos comparados com aqueles estabelecidos pela norma ASTM C-615 e os propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995).

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica das rochas para fins ornamentais pode ser determinada através da execução de ensaios, onde são conhecidas suas peculiaridades. Para que se possa classificar um determinado tipo de rocha como ornamental, deve-se considerar os índices físicos, a resistência físico-

mecânica e o grau de polimento, além da forma e dimensão dos blocos que podem ser extraídos, e, principalmente, a viabilidade de aproveitamento na lavra. Dessa forma, todo material empregado no setor da construção, como rocha ornamental e de revestimento, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que, quando executados, orientam o uso principal da rocha. As propriedades mecânicas são imprescindíveis para o emprego da rocha em geral, incluindo as que influenciam na lavra e beneficiamento e na utilização do produto acabado. Assim, a necessidade de se dispor de uma caracterização tecnológica rigorosa das rochas ornamentais é condição indispensável, pois embora tenha surgido no passado, na Itália, desponta hoje como fator preponderante para atender as exigências técnicas ligadas às grandes obras realizadas nos principais mercados de produtos acabados (Estados Unidos, Alemanha, Japão, etc.).

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

TABELA 1 – Normas Técnicas para Caracterização de Rochas Ornamentais

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

A Comunidade Econômica Européia sentiu a necessidade da unificação de normas para as rochas ornamentais com o objetivo de facilitar a

comercialização de tais produtos. Neste sentido foi criado o Comitê Europeu de Normalização – CEN, que preparou e submeteu à apreciação do Conselho Técnico um programa normativo no domínio da construção e obras públicas, que irá brevemente ser divulgado. Tão logo esse documento seja aprovado, os resultados serão apreciados pelo Comitê Internacional, que, através de uma avaliação comparativa com novas normas adotadas em outros países, deverá chegar a um consenso geral, e, posteriormente, elaborar um documento final de aceitação internacional. Os resultados de ensaios regidos por essas normas visam fornecer elementos que permitam atender a especificações menos empíricas, e, conseqüentemente, mais eficazes, seguras e econômicas, evitando insatisfações e/ou reclamações dos consumidores, gerando uma imagem negativa das empresas de projetos arquitetônicos e fornecedora desses materiais.

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

TABELA 2 – VALORES ESPECIFICADOS PELA NORMA ASTM E SUGERIDOS NO BRASIL

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

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

Nota: n.e. = não especificado

A Tabela 3 mostra os resultados de caracterização tecnológica das rochas silicáticas da região Nordeste estudadas.

Dentre as amostras analisadas encontram-se granitos SS, leucogranitos, gnaisses,

leucognaisses, migmatitos, monzogranitos, sienitos, charnockitos, dioritos, entre outros, no total de 101 tipos de rochas silicáticas que vêm sendo produzidas e comercializadas.

TABELA 3 – Resultado da Caracterização Tecnológica das Rochas Silicáticas da Região Nordeste

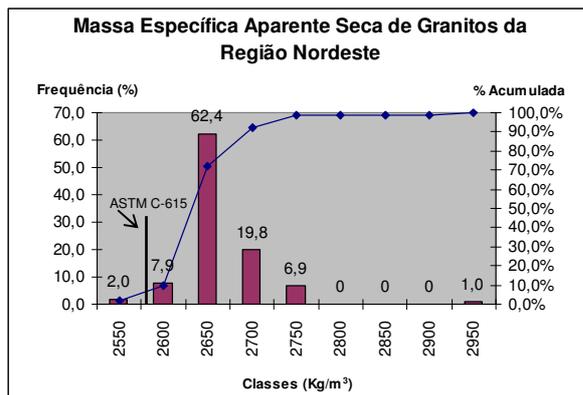
Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específ. (k/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Desgaste Amsler (mm)	Impacto (m)
Red Symphony	Biotita – Granito Tectonizado	2670	0,37	0,24	207,0	14,2	0,69	0,60
Yellow Symphony	Biotita – Granito	2620	0,58	0,22	120,0	15,8	0,69	0,59
Branco Cotton	Albita – Granito	2619	0,68	0,26	127,0	17,2	0,83	0,63
Super Branco	Albita – Granito	2611	0,76	0,29	105,9	8,3	1,16	0,96
Branco Ceará	Albita – Granito	2623	0,65	0,25	112,5	16,8	0,65	0,60
Branco Amazonas (V)	"	2640	0,48	0,18	146,2	8,1	0,69	0,58
Branco Tapajós (V)	"	2622	0,58	0,15	110,4	14,8	0,74	-
Branco Cecy (V)	"	2622	0,38	0,15	-	-	0,74	-
Branco Cristal Quartzo	Monzogranito ou Biotita – Granito	2614	0,42	0,16	157,2	17,7	0,40	0,56
Cinza Prata	Granodiorito	2678	0,43	0,16	146,5	12,85	0,91	0,80
Coliseum Green	Biotita – Granito ou Granito "sense strict"	2599	0,60	0,23	122,3	15,7	0,73	-
Coliseum Gold (V)	"	2599	0,60	0,23	122,3	15,7	0,73	-
Dourado Sobral	Biotita – Granito	2620	0,34	0,13	155,3	16,5	0,92	-
Green Galaxy	Molonito de coaposição sienogranítica	2691	0,25	0,10	90,3	19,9	0,74	0,72
Juparaná Montiel	Granito Pegmatóide	2635	0,63	0,24	80,5	8,8	0,81	0,57
Mont Blanc	Granada Leucognaisse	2620	0,73	0,28	119,7	13,8	0,78	0,53
Gran Caramelo (V)	"	2610	0,48	0,18	94,8	9,5	0,72	0,53
Rosa Iracema	Monzogranito ou Biotita – Granito	2611	0,82	0,31	145,0	13,3	0,61	0,66
Branco Savana (V)	"	2580	0,80	0,30	135,5	12,32	0,72	-
Verde Ceará	Biotita – Granito ou Granito "Sense strict"	2615	0,59	0,23	134,0	15,0	0,82	-
Vermelho Filomena	Biotita – Granito	2575	0,27	0,64	101,0	8,6	0,60	0,55
Branco Santa Quitéria	Biotita – Granito	2591	0,57	0,22	106,1	13,9	0,91	-
Amarelo Massapé	Biotita – Granito	2600	0,76	0,79	84,6	20,0	0,71	0,70
Branco Fuji	Biotita – Monzo – Granito Pegmatóide	2643	1,36	0,52	52,27	8,52	0,98	0,35
Reliquia	Quartzo – Monzonito	2633	0,50	0,19	121,9	19,02	-	-
Grampóla	Sienogranito	2610	1,13	0,43	110,54	20,08	0,77	-
Preto São Marcos	Piroxênio – Biotita – Diorito	2902	0,28	0,10	131,67	19,28	1,41	-
Amarelo Cabaças	Sienogranito	2616	0,70	0,27	136,6	10,57	0,59	-
Havana	Biotita – Granito	2620	0,88	0,34	-	16,18	0,83	-
Ouro Branco	Monzogranito	2610	0,61	0,23	-	-	0,76	-
Casablanca	Granada Leucognaisse	2659	0,36	0,14	96,3	6,6	0,95	0,60
Falésia	Granada Leucognaisse	2626	0,53	0,20	92,1	9,4	0,97	0,55
Juparaná Delicato	Granada – Biotita – Gnaisse	2648	0,30	0,11	133,9	12,4	0,83	0,50
Rain Forest	Biotita – Hornblenda – Granada ou Granito "sense strict"	2621	0,46	0,18	87,4	11,50	0,81	0,50
Yellow Tropical (V)	"	2624	0,49	0,19	84,6	8,90	0,78	0,56
Verde Meruoca	Biotita – Granito	2620	0,33	0,13	135,14	14,49	0,68	0,70
Meruoca Clássico	Biotita – Hornblenda – Granito	2601	0,21	0,08	116,7	12,47	0,72	0,67
Rosa Silvestre	Monzogranito	2584	1,30	0,502	100,25	12,65	0,19	-
Branco Pernambuco	Monzogranito	2636	1,08	0,41	120,89	17,12	0,39	-
White Bee	Albita - Granito	2631	0,79	0,30	103,22	15,88	0,67	0,70
Branco São Paulo	Albita - Granito	2611	0,68	0,26	104,66	14,89	0,74	0,90
Rosa Algodão	Sienito	2610	0,49	0,19	90,32	19,77	-	-
Taperoá	Biotita – Granito	2650	0,46	0,16	151,0	19,7	-	-
Branco Imaculada	Biotita - Granito	2554	1,82	0,78	106,0	17,8	-	-
Marrom Imperial	Sienito – Monzonito	2700	0,77	0,29	78,47	11,83	0,40	0,35
Carnaval	Ortognaisse migmatizado	2680	0,75	0,29	87,1	-	-	-
Florença	Sienogranito	2630	1,26	0,48	80,64	9,37	1,08	-
Rosa Goitis	Migmatito	2640	0,53	0,20	145,75	18,52	-	-
Vermelho Ipanema	Granito Alcali-feldspato	2610	0,75	0,29	113,74	17,01	0,82	-
Vermelho Venturosa	Monzosienito Pórfiro	2660	0,80	0,30	100,35	11,45	0,47	-
Biancastro	Monzogranito ou Biotita-Granito	2619	0,42	0,16	112,1	11,10	0,90	0,71
Vermelho Ventura	Biotita – Granito Pórfiro	2631	0,40	0,15	108,51	12,85	0,69	-
Verde Fuji	Quartzito	2657	0,75	0,28	151,37	24,08	0,50	-
Rosa Imperial	Ortognaisse migmatizado	2616	0,68	0,26	148,15	15,93	0,65	-
Juparaíba	Biotita – Sienogranito	2600	1,18	0,45	111,14	10,05	0,77	-

TABELA 3 – Resultado da Caracterização Tecnológica das Rochas Silicáticas da Região Nordeste – Cont.

Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específ. (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Desgaste Amsler (mm)	Impacto (m)
Preto Ceará	Quartzo - Diorito	2666	1,05	0,28	142,0	24,30	1,40	-
Guará	Monzogranito	2625	0,75	0,28	115,50	12,06	0,51	-
Azul Bahia	Sodalita – Sienito	2545	0,10	0,04	169,20	16,64	0,75	0,46
Azul Paramirim	Riolito pórfiro	2679	0,64	0,24	190,40	20,54	0,53	0,44
Azul Quati	Hornblenda granito	2665	0,46	0,17	167,20	16,93	0,72	0,50
Beija-Flor	Leucogranito	2640	0,44	0,17	73,33	-	-	-
Bordeaux Bahia	Biotita – Granito	2637	0,36	0,14	208,30	16,07	0,57	0,55
Branco Bahia	Leucogranito	2675	1,31	0,50	104,60	9,31	-	-
Branco Cacatua	Granada leucogranito	2642	0,37	0,14	181,90	17,79	0,38	0,53
Brown Colonial	Leucogranito	2625	0,60	0,23	135,80	8,12	0,55	0,53
Café Bahia	Sienito	2732	0,44	0,16	173,20	18,09	0,68	0,50
Café Brasil	Aegirina – augita – hornblenda álcali sienito	2730	0,11	0,04	178,10	18,00	-	-
Cinza Pratinha	Biotita granodiorito	2632	-	0,18	115,00	18,04	-	-
Cobalt Blue	Biotita, sodalita, nefelina sienito	2545	0,10	0,04	169,20	16,64	0,75	0,46
Colibri	Biotita gnaiss migmatizado	2640	0,36	0,14	136,70	17,70	-	-
Creme Azul Bahia	Hornblenda álcali granito	2665	0,46	0,17	167,20	16,93	0,72	0,50
Desenhado	Granito leucogranito	2650	0,67	0,25	133,20	13,00	0,39	-
Flamingo	Biotita – Granito	2620	0,88	0,34	131,40	-	0,18	0,55
Guariba	Biotita gnaiss migmatizado	2710	0,54	0,20	77,30	27,20	0,33	-
Himalaia White	Granada leucogranito	2632	0,45	0,17	-	15,65	0,84	-
Itaera	Aegirina – augita – hornblenda álcali sienito	2700	0,79	0,29	138,50	19,50	-	-
Juparaná Naska	Granito Kinzigítico	2635	0,58	0,22	103,50	15,32	-	-
Kashimir Bahia	Granada leucogranito	2640	0,46	0,18	204,20	16,30	0,62	0,57
Kinawa Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2644	0,23	0,09	191,10	19,27	0,58	0,45
Macajuba	Biotita – Hornblenda gnaiss	2670	0,48	0,18	81,23	20,60	0,16	-
Macajuba R4	Hornblenda granito – Gnaiss	2720	0,60	0,22	105,20	11,30	0,10	0,54
Macarena	Biotita gnaiss migmatizado	2630	0,80	0,31	-	-	-	-
Macroponto	Leucogranito Kinzigítico	2630	0,49	0,19	142,50	18,94	0,43	-
Macroponto II	Granito Kinzigítico	2630	0,49	0,19	142,50	18,94	0,43	-
Maracanã	Quartzo – Diorito	2676	0,38	0,14	155,10	20,43	0,43	0,68
Microponto	Leucogranito	2590	1,03	0,39	116,00	10,43	0,46	-
Mogno Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2637	0,36	0,14	208,30	16,07	0,57	0,55
Monte Santo	Granito	2649	0,50	0,19	176,30	22,46	0,47	0,65
Multicolor	Charnockito – Gnaiss migmatizado	2640	0,69	0,26	151,10	19,50	0,37	0,53
Multicolor Rosa	Biotita gnaiss migmatizado	2641	0,46	0,18	198,20	21,47	0,63	0,43
Pantaleão	Biotita gnaiss migmatizado	2630	0,57	0,24	76,87	20,10	0,16	-
Red Vitória	Biotita – Granito Gnaiss	2635	0,41	0,13	172,80	-	0,53	-
Rosa Tupim	Biotita gnaiss migmatizado	2638	0,43	0,16	176,40	20,96	0,59	0,49
Roseline	Biotita gnaiss migmatizado	2641	-	-	163,00	15,60	-	-
Roseline	Biotita gnaiss migmatizado	2641	-	-	163,00	15,60	-	0,46
Tigrato	Biotita gnaiss migmatizado	2650	0,29	0,11	82,93	24,60	-	-
Tropical Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2665	0,41	0,15	175,20	28,24	0,50	0,47
Verde Bahia	Charnockito	2689	0,10	0,04	184,10	20,73	0,35	0,38
Verde Dourato	Charnockito	2707	0,17	0,06	177,60	20,50	0,49	0,38
Verde Fontein	Charnockito	2676	0,39	0,15	95,10	11,10	0,33	0,50
Vino Bahia	Biotita – Granito Gnaiss	2624	0,48	0,18	185,20	17,41	0,80	0,59

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a distribuição dos resultados de massa específica aparente seca obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

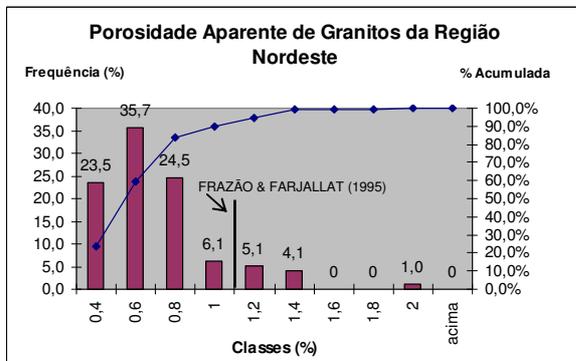


Classes Massa Específica	Percentual	Acumulada
2550	2,0	0,020
2600	7,9	0,099
2650	62,4	0,723
2700	19,8	0,921
2750	6,9	0,990
2800	0	0,990
2850	0	0,990
2900	0	0,990
2950	1,0	1,000

FIGURA 1 – Distribuição dos Resultados de Massa Específica Aparente Seca Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 1, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentou resultados de massa específica aparente variando no intervalo de 2550 a 2950 Kg/m³, com uma frequência de concentração maior em 2660 Kg/m³. Observa-se que cerca de 62% das amostras estudadas estão situada na classe de 2650 Kg/m³. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos para serem utilizados como revestimentos exteriores de granitos estruturais, devem apresentar densidade de massa específica aparente seca de 2560 Kg/m³. Verifica-se então que a grande maioria das rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste em estudo atendem perfeitamente à especificação estabelecida na Norma ASTM C-615. Apenas 2% das rochas estudadas situa-se abaixo desse limite não sendo significativo do ponto de vista estatístico.

A Figura 2 apresenta a distribuição dos resultados de porosidade aparente obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.



Classes Porosidade	Percentual	Acumulada
0,4	23,5	0,235
0,6	35,7	0,592
0,8	24,5	0,837
1	6,1	0,898
1,2	5,1	0,949
1,4	4,1	0,990
1,6	0	0,990
1,8	0	0,990
2	1,0	1,000
acima	0	1,000

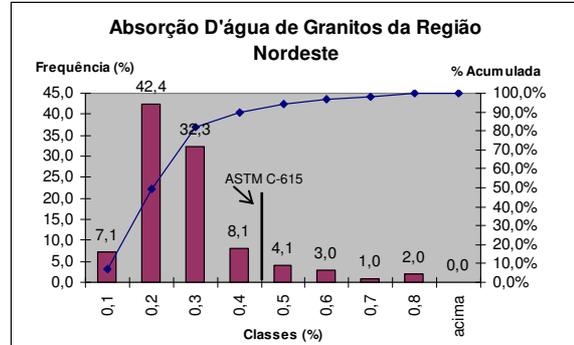
FIGURA 2 – Distribuição dos Resultados de Porosidade Aparente Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com relação ao gráfico da Figura 2, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de porosidade aparente variando no intervalo de 0,4 – 2,0%, com frequência de concentração maior em 0,6%, com cerca de 35%.

A Norma ASTM C-615 não especifica limites; no entanto, FRAZÃO & FARJALLAT (1995) através de um estudo estatístico relativo às características tecnológicas das rochas silicáticas (granito) do Brasil, sugerem o valor limite máximo de 1% para essa propriedade de rochas utilizadas como rochas ornamentais e de revestimento. Na Figura 2 verifica-se que cerca de 90% dos materiais analisados

encontram-se abaixo desse limite, ou seja, dentro da especificação proposta pelos autores FRAZÃO & FARJALLAT.

A Figura 3 mostra a distribuição dos resultados de absorção d'água obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

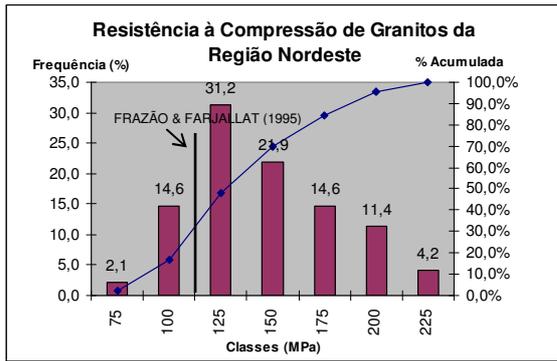


Classes Absorção	Percentual	Acumulada
0,1	7,1	0,071
0,2	42,4	0,495
0,3	32,3	0,818
0,4	8,1	0,899
0,5	4,1	0,940
0,6	3,0	0,970
0,7	1,0	0,980
0,8	2,0	1,000
acima	0,0	1,000

FIGURA 3 – Distribuição dos Resultados de Absorção D'água Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 3, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de absorção d'água variando no intervalo de 0,1 a 0,8%, com uma frequência de maior concentração em 0,2%. Observa-se que cerca de 75% das amostras estudadas estão situadas no intervalo de 0,2 a 0,3%. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos para serem utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, devem apresentar valor de absorção d'água abaixo de 0,4%. O mesmo valor também é sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT. Tomando como base os valores fixados pela ASTM C-615 e FRAZÃO & FARJALLAT, constata-se que as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de absorção d'água abaixo de 0,4%, o que nos permite dizer que esses materiais apresentam boa durabilidade e considerável resistência mecânica ao longo do tempo.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

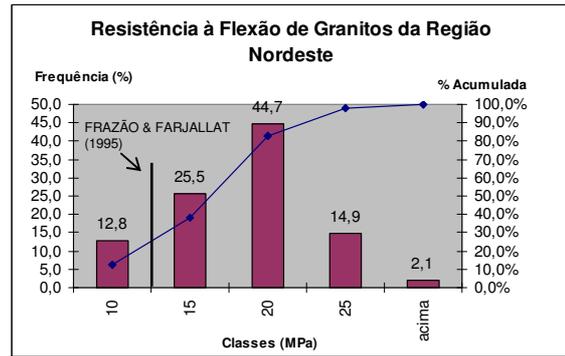


Classes Compressão	Percentual	Acumulada
75	2,1	0,021
100	14,6	0,167
125	31,2	0,479
150	21,9	0,698
175	14,6	0,844
200	11,4	0,958
225	4,2	1,000

FIGURA 4 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

De acordo com os resultados apresentados no gráfico da Figura 4, as rochas silicáticas (granito) mostram que a resistência à compressão uniaxial está mais concentrada no intervalo de 100 a 175 MPa, faixa em que situam-se cerca de 82% das rochas silicáticas analisadas. Segundo FRAZÃO & FARJALLAT (1995), o valor mínimo considerado para essa propriedade é de 100 MPa; enquanto que para a ASTM C-615 esse limite é de 131 MPa. Neste caso verifica-se, então, que os resultados obtidos para esse ensaio se adequam melhor ao limite estabelecido pelos referidos autores, uma vez que a frequência de maior concentração está situada em 125 MPa, um pouco abaixo do limite determinado pela Norma ASTM C-615. É importante ressaltar que essa característica físico-mecânica representa um valioso índice de qualidade dos materiais para uso como rochas ornamentais e de revestimento, estando, ao mesmo tempo, diretamente relacionada com outras propriedades tecnológicas que depende da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas. Estruturas orientadas, ou bandadas, conduzem a resultados de resistências diferentes, conforme as solicitações se dêem no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas.

A Figura 5 mostra a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

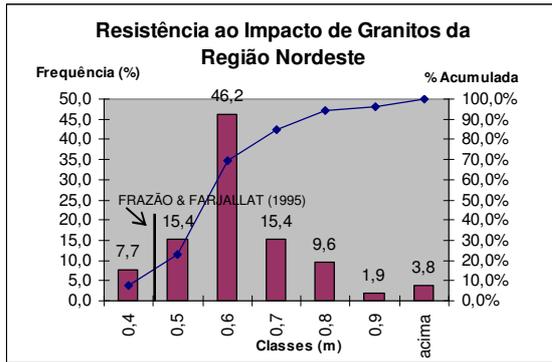


Classes Flexão	Percentual	Acumulada
10	12,8	0,128
15	25,5	0,383
20	44,7	0,830
25	14,9	0,979
acima	2,1	1,000

FIGURA 5 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Flexão Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com relação ao gráfico da Figura 5, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas para a resistência a flexão no intervalo de classe de 10 a 15 MPa variam com a frequência entre 10 a 15%, respectivamente, sendo que quase todas as amostras estão todas acima dos valores limites mínimos estabelecidos pela Norma ASTM C-615 ($\geq 10,34$ MPa) e o sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT ($\geq 10,0$ MPa), que é praticamente coincidente. No intervalo de 15 a 20 MPa, registra-se uma frequência de 70%. Nesse caso verifica-se que as rochas silicáticas (granito) analisadas neste estudo podem ser consideradas como sendo de boa qualidade, sob o ponto de vista de sua aplicação para revestimentos. Essa característica físico-mecânica assim como a compressão, também é muito dependente de estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas. Dessa forma, as mesmas observações sobre as estruturas de rochas feitas para os ensaios a resistência à compressão deverá ser levada também para os ensaios a resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) ou seja: estruturas orientadas, ou bandadas, conduzem a resultados de resistências diferentes, conforme as solicitações se dêem no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas.

A Figura 6 apresenta a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao impacto obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

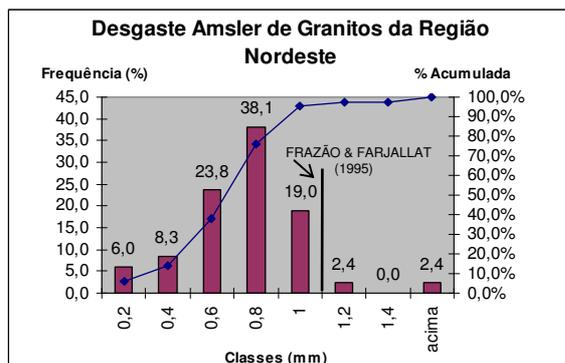


Classes Impacto	Percentual	Acumulada
0,4	7,7	0,077
0,5	15,4	0,231
0,6	46,2	0,693
0,7	15,4	0,847
0,8	9,6	0,943
0,9	1,9	0,962
acima	3,8	1,000

FIGURA 6 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência ao Impacto Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 6, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados para resistência ao impacto variando no intervalo 0,4 – 0,5 m, com frequência de 23%; em 0,6 m, com frequência de 46% cujo resultado situa-se cerca de 70% das rochas analisadas; no intervalo de 0,6 – 0,7 m, a frequência cai para 15%. Verifica-se que a maior frequência das rochas analisadas está em 0,6 m. A Norma ASTM C-615 não especifica limites; no entanto, FRAZÃO & FARJALLAT (1995), propões um limite mínimo de 0,4 m, dentro do qual estão inseridas 100% dos resultados obtidos, o que sugere que essas rochas possuem boa resistência ao impacto. Dessa forma, podem ser dimensionadas nas espessuras normais de uso sem grandes riscos de trincamento e/ou rompimento, suportando melhor as ações mecânicas instantâneas.

A Figura 7 mostra a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao desgaste Amsler obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.



Classes Desgaste Amsler	Percentual	Acumulada
0,2	6,0	0,060
0,4	8,3	0,143
0,6	23,8	0,381
0,8	38,1	0,762
1	19,0	0,952
1,2	2,4	0,976
1,4	0,0	0,976
acima	2,4	1,000

FIGURA 7 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência ao Desgaste Amsler Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com base nos resultados apresentados no gráfico da Figura 7, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas estão, a grande maioria, concentrada entre 0,6 – 0,8 mm, com cerca de 62% de frequência. A Norma ASTM C-615 não especifica limites; FRAZÃO & FARJALLAT (1995) através de um estudo estatístico relativo às características tecnológicas das rochas silicáticas (granito) do Brasil, sugerem o valor limite máximo de 1,0 mm para o desgaste Amsler ($\leq 1,0$ mm), ou seja para a resistência ao desgaste Amsler nesse caso é de 1 mm. Tomando como base esse valor, constata-se que 95% das rochas analisadas atendem a esse limite, o que recomenda sua aplicação também em áreas de trânsito mais intenso, no caso para piso de alto tráfego.

CONCLUSÕES

- ✓ Das rochas silicáticas (granito) da região Nordeste estudadas, 62% estão dentro dos limites estabelecidos para massa específica aparente seca (classe de 2650 Kg/m³), cerca de 90% para porosidade (abaixo de 1%) e mais de 90% satisfazem aos índices de absorção d'água ($\leq 0,4\%$). Esses dados, quando comparados aos valores fixados pela norma ASTM – C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), podem ser considerados satisfatórios;
- ✓ Com relação a resistência à compressão uniaxial, 82% das rochas silicáticas (granito) analisadas estão dentro do intervalo de 100 e 175 MPa, sendo, portanto aceitáveis para utilização como rocha ornamental e de revestimento, sob o ponto de vista do limite mínimo (100 MPa) proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);
- ✓ Para os ensaios de resistência à flexão, verifica-se que quase todas as amostras analisadas encontram-se na classe acima de 10 MPa com uma frequência de maior concentração no intervalo de 15 a 20 MPa (70%). Tais resultados podem ser considerados como sendo de ótima qualidade, uma vez que os mesmos estão inseridos nos limites estabelecidos pela norma ASTM C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);
- ✓ No que se refere aos resultados obtidos para a resistência ao impacto, verifica-se que 7% das rochas estudadas encontram-se acima do valor

mínimo proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);

- ✓ Quanto ao desgaste Amsler, pode-se constatar que cerca de 95% dos resultados obtidos encontram-se abaixo do valor máximo proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), conferindo um alto índice de resistência ao desgaste.

BIBLIOGRAFIA

- Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12.042/92. *Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.763/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.764/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.765/92. *Rochas para revestimento: determinação de coeficiente de dilatação térmica linear*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.766/92. *Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.767/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.768/92. *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.769/92. *Rochas para revestimento: ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação de resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1997. NBR 13.818/97, anexo H. *Determinação da resistência ao ataque químico*. Rio de Janeiro.
- _____. no prelo. *Rochas para revestimento de edificações: terminologia*. (Projeto 02:105.45-012).
- ASTM-American Society for Testing and Materials. 1995. D 2845/95. *Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks*.
- _____. 1999a. C119/99. *Standard terminology relating to dimension stone*.
- _____. 1999. C 503/99 – *Standard specification for marble dimension stone (exterior)*.
- _____. 1999. C 568/99 – *Standard specification for limestone dimension stone*.
- _____. 1999. C 615/99. *Standard specification for granite dimension stone*.
- _____. 1999. C 616/99 – *Standard specification for quartz-based dimension stones*.
- _____. 1999. C 629/99 – *Standard specification for slate dimension stones*.
- _____. 1999. C 880/99. *Standard test method for flexural strength of dimension stone*.
- American Society For Testing And Materials - ASTM. (C 615). *Standard specification for granite dimension stone*. 1992.
- Frazão, E, B.; Farjallat, J. E. S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa. 1995.47-58p.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE. v.1, p. 369-380.
- Frisa Morandini, A. La qualificazione Tecnica delle rocce ornamentali: Normativa Viopute e Proposte di Intervento. 7ª Feira Internazionale Marmo Machine Carrara - La cava nel 2.000. Convegno Internazionale Su: Tra Inovazione Tecnologica e Nuove Diomonche di Marcato, Atti Carrara, 29/30 maggio 1996: p 129 - 133.
- Vidal, F. W. H.; Bessa, M F.; Lima, M. A. B. Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. Série Tecnologia Minera, 74. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999. 30p.
- Vidal, F. W. H.; Bessa, M F.; Lima, M. A. B. Caracterização tecnológica das rochas ornamentais do Ceará. IV Congresso Italo-brasileiro de Engenharia de Minas, Canela/RS, 4/6 novembro 1996, p. 174-183.
- Vidal, F. W. H.; Pereira, T. A. Avaliação das atividades de produção das rochas ornamentais e sua aplicação como revestimento através da caracterização. XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro/SP, 23/26 agosto 1998, p. 173-186.

ROCHAS ORNAMENTAIS DA REGIÃO NORDESTE: PROPRIEDADES FÍSICO – MECÂNICAS

Felisbela Maria da Costa Oliveira^{1}, Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros^{2*}, José Lins Rolim Filho^{3*}, Evenildo Bezerra de Melo^{4*}, Júlio César de Souza^{5*}, Gabrielle Sousa e Silva^{6*} e Juzilene Kalline Menezes^{7*}*

^{1*,3*,4*,5*}DSc., DEMINAS/UFPE

^{2*}MSc., DEMINAS/UFPE

^{6*,7*}Graduanda, DECIVIL/UFPE

*Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – 50.670-901 – Recife – PE

Fone: (81) 3271-8245/3271-8246 – E-mail: mlbarros@npd.ufpe.br; jcsouza@npd.ufpe.br

RESUMO

Foram estudadas quatorze (14) amostras de rochas ornamentais, provenientes de cinco Estados do Nordeste: Alagoas, uma (01) Amostra; Bahia, uma (01) amostra; Paraíba, seis (06) amostras; Pernambuco, cinco (05) amostras, e Rio Grande do Norte uma (01) amostra. Foram determinados os índices físicos destas rochas. Estes ensaios foram realizados segundo norma da ABNT, a NBR N^o 12.766, e em seguida foram determinadas algumas propriedades mecânicas: Resistência à compressão simples ou uniaxial, com aplicação do esforço normal e esforço paralelo ao plano de fraqueza (NBR N^o 12.767); Resistência à tração por flexão (NBR N^o 12763,); Abrasividade através do ensaio de Desgaste Amsler a 500m e a 1000m (NBR N^o 12042).

INTRODUÇÃO

Necessita-se de informações técnicas, que possam orientar engenheiros, arquitetos, sobre uma melhor utilização das rochas ornamentais. Este trabalho visa suprir esta lacuna. Foram estudadas as características físico-mecânicas das amostras.

As rochas ornamentais comercialmente mais importantes são os "granitos". Certos "granitos" ornamentais do Brasil são famosos até no exterior. Além de ter beleza visual, são as rochas mais resistentes, não perdendo o brilho de polimento durante longos anos. Desta forma, desde os tempos antigos os "granitos" são tratados como material de luxo na construção. Sobretudo, os "granitos" coloridos são muito procurados no mercado. Como por exemplo, as tumbas dos faraós das pirâmides do Egito foram construídas com "granitos" e o corpo principal das pirâmides, com calcários.

Na região Nordeste, o mercado de rochas ornamentais tem se mostrado rápido e lucrativo. A extração, principalmente de granito, no Nordeste teve seu primeiro estímulo depois da segunda guerra mundial, concorrendo com rochas do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina além das rochas importadas. No entanto em nosso estado e em todo Brasil, o critério decisivo na escolha de determinada rocha tem sido essencialmente o custo e a estética da mesma, não se levando em consideração suas características físicas-geomecânicas e petrográficas. Daí a relevante importância deste trabalho.

A determinação de índices físicos e de parâmetros geomecânicos das rochas é de

fundamental importância quando da utilização deste material. Sendo as rochas um produto de origem natural cuja fabricação/formação não pode ser do ponto de vista da qualidade controlada pelo homem e, considerando também, que os volumes de material pétreo utilizado em obras de engenharia são de grande monta, faz-se necessário o perfeito conhecimento de suas características porque, apenas desse modo, poder-se-á garantir a melhor utilização de tal material, levando-se em conta o trinômio qualidade-durabilidade-preço.

A falta de conhecimento e disponibilidade de dados físicos e parâmetros mecânicos das rochas ornamentais da Região Nordeste, torna impossível a sua utilização plena no sentido de sua melhor adequação de uso.

Sabe-se que valores elevados de porosidade e absorção prejudicam o emprego da rocha como placa de revestimento em pisos e paredes externas. Valores elevados de absorção (> 0.4%) causam o manchamento das placas pela água de amassamento da argamassa.

Os dados obtidos dessas pesquisas poderão subsidiar projetos de construção civil onde a utilização desse tipo de revestimento se fizer presente garantindo o seu perfeito assentamento e bom acabamento e também a durabilidade.

Os valores dos pesos específicos colaboram para o cálculo da carga estrutural principalmente em edifícios de grande altura onde também as resistências à flexão e à tração têm grande importância. Isto posto, considerando-se o aspecto estético onde o que importa é, principalmente, a beleza do revestimento, negligenciando-se, na maioria das vezes o trinômio supracitado, o conhecimento dos índices físicos, e também os aspectos de corte e polimento das placas pétreas permitem diminuir os efeitos nefastos do meio ambiente de grandes centros urbanos onde há a emissão de gases agressivos que, combinados à água da chuva, produzem ácidos que causam alterações nas placas pétreas de revestimento. Estas modificações prejudicam o aspecto visual da fachada e comprometem também a estabilidade/destacamento da fixação das placas pétreas que pode se traduzir em falta de segurança para os usuários da edificação.

Assim sendo o conhecimento das propriedades das rochas ornamentais aferidas através de ensaios de laboratório dessas mesmas rochas, compilados em um banco de dados possibilita o melhor uso conciliando mutuamente

aspectos estéticos/arquitetônicos, resistência mecânica e durabilidade.

Atualmente os critérios primordiais na escolha de determinada rocha para fins ornamentais tem sido essencialmente o custo e a estética da mesma. Sendo as rochas um produto de origem natural cuja formação não pode ser qualitativamente controlada pelo homem, faz-se necessário o perfeito conhecimento de suas características porque apenas desse modo será possível garantir a melhor utilização, levando-se em conta a qualidade, a durabilidade e o preço. A determinação de índices físicos serve-nos para determinar a melhor utilização deste material.

LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram recolhidas em cinco Estados Nordestinos, com uma predominância maior dos Estados da Paraíba com seis amostras e de Pernambuco com cinco amostras, havendo uma ausência de amostras dos Estados do Ceará, do Sergipe, Maranhão e Piauí, conforme Tabela 1.

TABELA 1 – Localização das amostras por Estado

Amostras	Estado	Município	Localidade	Nome Comercial
A – 01	Alagoas	Maceió	Saúde	Granito Havana
B – 01	Bahia	Planaltina	-----	Granito Verde Laguna
C – 01	Paraíba	Messias Targino	Serra da Flor	-----
C – 02	Paraíba	Messias Targino	Fazenda Camuru	Verde Fuji
C – 03	Paraíba	Santa Luzia	Faz. Santa Clara	Verde Rey Imperial
C – 04	Paraíba	São Mamede	-----	Granito Roséo Pálido
C – 05	Paraíba	Santa luzia	Faz. Santa Clara	Juparaíba
C – 06	Paraíba	Picuí	-----	Caramelo Picuí
D – 01	Pernambuco	Garanhuns	Aline	Granito Rosa Imperial
D – 02	Pernambuco	Jupí	Boi Morto	Granito Ouro Branco
D – 03	Pernambuco	Timbaúba	-----	Preto Nobre
D – 04	Pernambuco	Gravatá	Cachoeira de Gravatá	Granito Branco Gravatá
D – 05	Pernambuco	Gravatá	Cachoeira de Gravatá	Granito Preto
E – 01	Rio Grande do Norte	Lages	Fazenda Tapuyo	Granito Grampôla

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS

No material objeto desta pesquisa, a determinação dos índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente) foram realizados segundo a norma NBR 12.766, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Na Tabela 2 estão apresentados os dados obtidos nas determinações dos pesos específicos secos e pesos específicos saturados aparentes,

absorção aparente e porosidade aparente, das amostras.

Os dados apresentados nestas tabelas, representam uma média de valores, para cada uma das propriedades índices. Foram realizados em média de 10 determinações para cada amostra de acordo com a norma NBR 12.766.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

As amostras, todas com relação de dimensões 1:1:1 em torno de $\cong 80,0$ mm, foram colocadas na relação altura – base quadrangular entre 1,0 e 2,0, isto atende as condições do material disponível para amostragem. As amostras foram cortadas com serra de disco adiamantado, no Laboratório de Tecnologia Mineral (DEMINAS) da UFPE,

As extremidades dos corpos de prova foram aplanadas perpendicularmente aos eixos das peças, nos limites recomendados pela norma (NBR 12.767), ou seja, as irregularidades do topo e da base, não ultrapassem a $\pm 0,01$ mm e os ângulos formados entre as bases e a geratriz dos corpos cilíndricos, sejam de $(90 \pm 3)^\circ$.

TABELA 2 – Peso Específico seco aparente, Peso Específico saturado aparente, Porosidade aparente e, Absorção aparente das amostras

Amostras	Peso Específico seco aparente g/cm ³	Peso Específico Saturado aparente g/cm ³	Porosidade η	Absorção α
A – 01	-----	-----	-----	-----
B – 01	2,631	2,640	0,832	0,316
C – 01	2,691	2,696	0,545	0,203
C – 02	2,649	2,657	0,654	0,284
C – 03	2,610	2,620	0,630	0,250
C – 04	2,584	2,597	1,298	0,502
C – 05	2,608	2,621	1,260	0,480
C – 06	2,606	2,620	1,332	0,513
D – 01	2,616	2,617	0,676	0,203
D – 02	2,636	2,640	1,084	0,411
D – 03	2,766	2,771	0,511	0,184
D – 04	2,614	2,628	1,397	0,534
D – 05	2,798	2,807	0,901	0,322
E – 01	2,612	2,623	1,134	0,434

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em prensas do Laboratório de Estrutura do Dept^o de Engenharia Civil, com as seguintes características: capacidade de carga: 300.000 KN; Tipo de controle do ensaio: carga.

Os ensaios de determinação da resistência à compressão uniaxial, tiveram como ponto de referência, a norma NBR 12.767, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Válida a partir de 29/12/92.

Na Tabela 3, estão representados os valores da resistência à compressão simples das amostras.

Os ensaios foram realizados em duas direções com relação à aplicação da carga: a primeira aplicada à direção normal ao plano de fraqueza; e a segunda aplicada à direção paralela ao plano de fraqueza.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO

As amostras, todas com dimensões de aproximadamente 20 cm x 10 cm x 5 cm. As amostras foram cortadas com serra de disco adiantado, no Laboratório de Tecnologia Mineral (DEMINAS) da UFPE.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados em prensas do Laboratório de Estrutura do Deptº de Engenharia Civil, com as seguintes características: capacidade de carga: 30.000 KN; Tipo de controle do ensaio: carga.

TABELA 3 – Resistência à Compressão Simples das amostras

Amostras	Resistência à Compressão (q_u) MPa Direção normal	Resistência à Compressão (q_u) MPa Direção paralela
A - 01	138,10	138,12
B - 01	-----	-----
C - 01	153,25	158,48
C - 02	148,38	151,37
C - 03	193,18	96,98
C - 04	100,65	98,64
C - 05	64,76	-----
C - 06	110,65	-----
D - 01	148,15	118,61
D - 02	120,89	-----
D - 03	118,34	-----
D - 04	101,70	90,39
D - 05	110,50	96,68
E - 01	129,32	-----

Os ensaios de determinação da resistência à flexão, tiveram como ponto de referência, a norma NBR 12.763, da Associação Brasileiras de Normas Técnicas. Válida a partir de 29/12/92.

Na Tabela 4, estão representados os valores da resistência à flexão das amostras.

TABELA 4 – Resistência à Flexão das amostras

Amostras	Resistência à Flexão MPa Direção normal	Resistência à Flexão MPa Direção paralela
A - 01	-----	-----
B - 01	-----	-----
C - 01	31,71	-----
C - 02	24,08	-----
C - 03	17,05	12,34
C - 04	12,65	11,72
C - 05	13,34	-----
C - 06	12,07	-----
D - 01	18,07	15,32
D - 02	17,12	-----
D - 03	16,07	-----
D - 04	18,50	13,31
D - 05	16,62	12,33
E - 01	24,57	-----

Os ensaios foram realizados em duas direções com relação à aplicação da carga: a primeira aplicada à direção normal ao plano de fraqueza; e a segunda aplicada à direção paralela ao plano de fraqueza.

DETERMINAÇÃO DA ABRASIVIDADE

As amostras, todas com dimensões de aproximadamente 7,5 cm x 7,5 cm x 2,5 cm. As amostras foram cortadas com serra de disco adiantado, no Laboratório de Tecnologia Mineral (DEMINAS) da UFPE.

Os ensaios de determinação da abrasividade, tiveram como ponto de referência, a norma NBR 12.042, da Associação Brasileiras de Normas Técnicas. Na Tabela 5, estão representados os valores da abrasividade das amostras.

TABELA 5 – Determinação da abrasividade

Amostras	500 metros (mm)	1.000 metros (mm)
A - 01	0,381	0,487
B - 01	0,221	0,556
C - 01	0,253	0,330
C - 02	0,230	0,495
C - 03	-----	0,870
C - 04	0,110	0,193
C - 05	0,400	0,730
C - 06	0,083	0,115
D - 01	-----	-----
D - 02	0,183	0,390
D - 03	0,082	0,163
D - 04	0,113	0,178
D - 05	0,048	0,174
E - 01	0,370	0,770

RESULTADOS

Os valores do peso específico saturado variam de 2,597 a 2,807 g/cm³, para a porosidade intervalo de 0,511 a 1,397 % e para a absorção 0,184 a 0,534 %. Para a resistência à compressão simples intervalo de 64,76 a 193,18 MPa com aplicação do esforço normal ao plano de fraqueza e de 90,39 a 158,48 MPa com aplicação do esforço paralelo ao plano de fraqueza. Para a resistência à flexão: valores compreendidos entre 12,07 a 31,71 MPa (normal ao plano de fraqueza) e de 11,72 a 15,32 MPa (paralelo ao plano de fraqueza). Para a abrasividade obtida pelo ensaio Amsler temos valores de 0,083 a 0,400 mm a 500m e para 1.000m valores de 0,115 a 0,870 mm.

CONCLUSÕES

Tendo como base dados de ensaios realizados a partir das amostras de rochas recolhidas no campo, nos locais já relacionados e comparando os resultados obtidos com os valores limites estabelecidos pela norma ASTM C 615 e aqueles propostos por Frazão & Farjallat, e também com base nos valores propostos pelo grupo de rochas ornamentais do DEMINAS/UFPE, apenas para propriedades aqui relacionadas, Tabela 6.

TABELA 6 – Valores especificados pela norma ASTM e Sugeridos no Brasil

PROPRIEDADES	VALORES FIXADOS PELA ASTM	VALORES SUGERIDOS POR FRAZÃO & FARJALLAT	VALORES SUGERIDOS PELO GRUPO DO DEMINAS/UFPE
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,56	2,55	2,50
Porosidade aparente (%)	n.e.	1,0	0,70
Absorção d'água aparente (%)	0,4	0,4	0,25
Compressão Uniaxial (MPa)	131,0	100,0	80,0
Flexão (MPa)	10,34	10,00	10,0
Desgaste (mm/1.000m)	n.e.	1,00	0,70

Nota: n.e. = não especificado

Dessa forma, avaliando as Rochas Ornamentais que foram amostradas, verificou-se que das quatorze amostras analisadas, com relação aos itens de massa específica aparente, e resistência a flexão, todas as amostras estão dentro das especificações fixadas tanto quanto pela ASTM C 615 quanto as sugeridas por Frazão e Farjallat e, também pelo Grupo de Rochas Ornamentais.

Em relação à porosidade aparente e absorção d'água aparente apenas seis das quatorze amostras encontram-se dentro das especificações fixadas pela ASTM C 615 e sugeridas por Frazão e Farjallat e, apenas quatro dentro dos valores sugeridos pelo Grupo de Rochas Ornamentais. Apesar de sete amostras estarem fora das especificações sugeridas por Frazão e Farjallat, e nove amostras em relação ao Grupo de Rochas Ornamentais, em relação à porosidade aparente e absorção d'água aparente, não significa que as mesmas não possam ser utilizadas como rochas ornamentais, tendo apenas a observação do local onde as mesmas serão utilizadas, ou seja, a não utilização das mesmas em locais onde ocorra a presença de umidade.

Com respeito a resistência à compressão simples ou uniaxial, toda as amostras estão dentro do padrão sugerido tanto por Frazão e Farjallat, quanto pelo Grupo de Rochas Ornamentais, com exceção da amostra C – 05, mas para a ASTM C 615 apenas cinco amostras das quatorze estão dentro do padrão de qualidade para a compressão simples.

Para o desgaste a abrasão pelo ensaio Amsler, no padrão recomendado por Frazão e Farjallat todas as amostras estão dentro dos valores sugeridos, mas para o Grupo de Rochas Ornamentais, três amostras estão fora dos padrões recomendados para a resistência a abrasão (mm/1.000m).

As amostras A – 01, C – 01, C – 02, C – 03, e D - 01 são aquelas que melhor se enquadram nas tabelas de valores limites estabelecidas pela ASTM C 615, por Frazão & Farjallat e pelo Grupo de Rochas Ornamentais DEMINAS/UFPE. Apenas o coeficiente de absorção aparente (0,284%) da amostra C – 02, é ligeiramente superior àquele admitido pelo Grupo de Rochas Ornamentais do DEMINAS/UFPE (0,25%). A amostra D – 03, também obedece às normas fixadas pelos grupos já referenciados, exceto com relação ao valor da resistência à compressão simples (118,34

MPa), cuja estimativa se encontra aquém daquela fixada pela ASTM C 615 (131,0 MPa).

Por outro lado, as rochas das amostras C – 04, C – 05, C – 06, D – 02, D – 04, e E – 01, foram aquelas que apresentaram índices físicos (porosidade e absorção) abaixo dos valores recomendados pelas três tabelas.

A estes índices físicos e parâmetros mecânicos devem ser juntados dados da composição mineralógica e textural das rochas quando da decisão sobre a melhor adequação de um determinado litotipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (C 615). Standard specification for granite dimension stone. 1992
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12.763) Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão 1992. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.767) Rochas para Revestimento – Determinação da resistência a compressão uniaxial. 1992. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.766) Rochas para Revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 1992. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.042) Rochas para revestimento – Determinação da abrasividade 1992. 2p
- FRAZÃO, E. B., FARJALLAT, J. E. S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedra de revestimento. I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa. 1995. 47-58p.
- FRAZÃO, E. B., FARJALLAT, J. E. S. Seleção de pedras para revestimento e prioridades requeridas. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 124, p. 80 –93, 1995
- MEDEIROS, T..J.L.; OLIVEIRA, F.M.C.; MELO, E.B e BARROS, M.L.S.C. Parâmetros físicos versus dados texturais-mineralógicos em chapas de rochas ornamentais –Resultados preliminares. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, 2000, p164
- MEDEIROS, T..J.L.; OLIVEIRA, F.M.C.; MELO, E.B ; BARROS, M.L.S.C e ROLIM FILHO, J.L. Propriedades físico-mecânicas das rochas ornamentais comercializadas no estado de Pernambuco. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, 2000, p 165.
- ROLIM FILHO, J. L.; SOUZA, J. C.; LIRA, B. B.; BARROS, M. L. S. C. ; OLIVEIRA, F. M. C. Avaliação dos procedimentos de ensaio para caracterização de rochas ornamentais. III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Novembro, 2002.

AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

José Lins Rolim Filho^{1*}, Júlio César de Souza^{2*}, Belarmino Barbosa Lira^{3*}, Márcio Luiz de S. C. Barros^{4*}, Felisbela Maria da C. Oliveira⁵

^{1*,2*,3*,5*}DSc. UFPE/DEMINAS

^{4*}MSc. UFPE/DEMINAS

*Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – 50.670-901 – Recife – PE
Fone: (81) 3271-8245/3271-8246 – E-mail: mlbarros@npd.ufpe.br; jcsouza@npd.ufpe.br

RESUMO

No presente trabalho são apresentados e discutidos os principais procedimentos de ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais encontrados nas normas internacionais e na Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Também é apresentada uma avaliação dos valores limites dos ensaios contidos nas normas e uma sugestão de interpretação dos resultados adotada como padrão no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais do DEMINAS/CTG/UFPE.

São também apresentados sugestões de modificações nas normas atuais da ABNT referentes aos ensaios de determinação de índices físicos, desgaste por abrasão Amsler e ensaios de resistência mecânica, visando uma maior padronização das metodologias laboratoriais.

Por fim são apresentados novos procedimentos de ensaios de rochas ornamentais desenvolvidos no DEMINAS/CTG/UFPE para determinação da resistência ao impacto através da utilização do equipamento de duplo pêndulo, sugestão de procedimento para realização de ensaios de alterabilidade química e ensaio de resistência ao cisalhamento no ponto de aplicação dos inserts metálicos para fixação de placas em fachadas aeradas/ ventiladas

INTRODUÇÃO

No Brasil, as normas existentes para caracterização tecnológica de rochas ornamentais são baseadas nas normas americanas, principalmente normas da ASTM (American Standard of Testing and Materials). Isto tem gerado alguns desconfortos por parte dos pesquisadores que fazem parte do grupo de Rochas Ornamentais vinculado ao DEMINAS/CTG/UFPE. Algumas normas já existentes e padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) indicam valores padrão para

alguns ensaios e também existem algumas sugestões do IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica). Mesmo assim os procedimentos na realização de alguns ensaios incorrem em algumas metodologias, que na visão do grupo, estariam inadequadas para a realização destes ensaios. Devido a isso o grupo vem sugerir algumas mudanças nestas metodologias e nos valores padrão para os ensaios tecnológicos de Rochas Ornamentais.

ÍNDICES FÍSICOS

Para a análise de Índices Físicos (Porosidade, Absorção e Massa específica (seca e saturada), as normas da ABNT sugerem o procedimento em que a rocha sofre aquecimento em estufa para a retirada de água para posteriormente ser submetida a uma saturação em água a temperatura ambiente. Em análises nos laboratórios do DEMINAS/CTG/UFPE, chegamos a conclusão de que não havia lógica neste procedimento, haja vista a saturação ser demorada e imperfeita. Além disso a ação de temperatura na secagem reabre as microfissuras naturais das rochas, o que leva a resultados falsos.

Sugerimos para tais análises (índices físicos): saturação da rocha no seu estado natural em água fervente a fim de extrair o ar aprisionado na porosidade e microfissuras. Posteriormente, ao esfriar estes espaços estão completamente preenchidos com água, dando desta forma uma maior confiabilidade nos resultados.

Na Tabela 1 são apresentados os valores para os índices físicos propostos pelas normas técnicas ASTM, IPT e pelo grupo de rochas ornamentais do DEMINAS/CTG/UFPE.

TABELA 1 - Valores sugeridos para valores dos ensaios tecnológicos de rochas ornamentais

	Densidade (g/cm ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm/1000 m)	Impacto (m)	COMPRESSÃO SIMPLES (MPa)	FLEXÃO (MPa)
GRANITOS	Mínimo	2,500 ≤ 0,05 (s/restrições)	≤ 0,02 (s/restrições)	≤ 0,35 (alto pisoteio)	≤ 0,25 (s/restrições)	≤ 50 (baixa resistência)	≤ 7,5 (baixa resistência)
	Médio	2,650 0,70 (s/restrições)	0,25 (c/trat. superf.)	0,70 (pisoteio médio)	0,50 (quebradiço)	150 (média resistência)	20 (média resistência)
	Máximo	3,500 ≥ 2,95 (com restrições)	≥ 1,15 (severas restrições)	≥ 2,05 (inviável ao pisoteio)	≥ 1,00 (com restrições)	≥ 320 (alta resistência)	≥ 50 (alta resistência)
Valores limites	Norma ASTM (C 615-92)	≥ 2,500 (C 97)	S/ESPECIFICAÇÃO	≤ 0,40 (C 97)	S/ESPECIFICAÇÃO	S/ESPECIFICAÇÃO	≥ 131 (C 170)
	DEMINAS/UFPE	≥ 2,500	≤ 0,70	≤ 0,25	≤ 0,70	≥ 1,00	≥ 320
	IPT (Frazão, 1995)	≥ 2,550	≤ 1,00	≤ 0,40	≤ 1,00	≥ 0,40	≥ 10
						≥ 100	≥ 10

COMPRESSÃO SIMPLES E TRAÇÃO PARA FLEXÃO

Nestes ensaios, observamos que as normas não levam em consideração as dimensões dos cristais formados, ficando assim, as dimensões dos corpos de prova inflexíveis. Geram-se problemas quando existem, nos corpos de prova ensaiados, amostras que apresentam cristais com dimensões maiores do que 40% de uma das dimensões do corpo de prova, caracterizando amostras não homogêneas, isto é, corpos de provas anisotrópicos.

Nesses casos é interessante que sejam realizados ensaios com corpos de prova de maior tamanho e que os resultados sejam posteriormente tratados com fatores de correção para comparação com os resultados obtidos com a norma.

Na Tabela 1, observamos os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para os ensaios de Compressão Simples e de Tração para Flexão.

IMPACTO DE CORPO DURO

Observamos nas normas existentes, equipamentos cuja proposta de fabricação não apresenta altura satisfatória. Em diversos testes realizados em rochas no DEMINAS/CTG/UFPE, a altura de queda, em experimentos reais, foi de até 0,85 metros. O equipamento dimensionado pela norma da ABNT para ensaio de corpo duro apresenta uma altura máxima de 0,40 metros, o que contradiz com a realidade da maioria das rochas existentes.

Na Tabela 1, estão expostos os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para o ensaio de Impacto de Corpo Duro.

DESGASTE AMSLER

Neste item foi observado que a especificação do material abrasivo (areia silicosa), não é precisa, haja vista, tratar-se de um material natural e que apresenta abrasividade variável e depende da sua composição mineralógica.

Sugerimos que tal ensaio seja realizado e normatizado com cristais de quartzo, ou vidro branco transparente com resistências e dureza precisa. Os materiais utilizados como abrasivo quando normatizados tendem a apresentar uma maior representatividade e conseqüentemente uma maior repetitividade nos ensaios.

Na Tabela 1, estão representados os valores sugeridos pelo grupo de rochas ornamentais para o ensaio de Desgaste por Abrasão Amsler.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARA APLICAÇÃO DE INSERT METÁLICO

Sugere-se a aplicação de mais um tipo de ensaio tecnológico que refere-se à resistência ao cisalhamento no ponto de fixação na placa (furação), quando utilizado o sistema de aplicação de placas em

fachadas aeradas/ventiladas através de inserts metálicos. O objetivo deste ensaio é determinar a capacidade de suporte da placa nos locais de aplicação dos elementos de fixação metálicos em fachadas aeradas/ventiladas, através de ensaio de cisalhamento direto com quatro pontos, Figura 1.

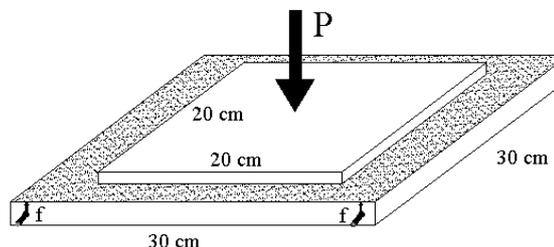


FIGURA 1 - Esquema do ensaio de determinação da resistência ao cisalhamento

A ruptura ocorre nos pontos de aplicação dos pinos na placa, por mecanismo de cisalhamento. A tensão de ruptura é indicada pela força "P", tensão máxima de suporte da placa. Através desse valor pode-se determinar o tamanho máximo da placa que poderá ser utilizada em uma fachada ventilada/aerada, levando em consideração a pressão do vento determinada para o local onde será executada a obra, função do sistema de vento predominante na área.

ALTERABILIDADE QUÍMICA

Este ensaio, que talvez seja o principal para a utilização de rochas ornamentais em ambientes domésticos, é realizado de uma maneira até agora bastante simples e sem parâmetros técnicos eficientes, sendo mais avaliado subjetiva do que objetivamente. Nele são requeridos quatro placas de rochas ornamentais prontas para a utilização, de dimensões 30 x 30 x 3 cm.

A primeira placa é a placa de referência, pois nenhuma substância química é colocada sobre ela. Nas outras três placas são colocados reagentes de utilização domésticas como: detergentes líquidos, sabões, desinfetantes, vinagres, etc. Após determinado tempo de reação, as placas são limpas e comparadas com a primeira placa de forma subjetiva em função do seu aspecto estético. Os tempos usuais de reação são: a segunda placa com 24 horas, a terceira com 48 horas e quarta com 72 horas.

Propõem-se a utilização de colorimetria como forma de leitura destas comparações, o que determinará o grau de alterabilidade face a cada substância química em função das diferenças cromáticas observadas no colorímetro para as cores primárias. Além do colorímetro sugere-se a utilização de gloss-meter (reflectômetro) para avaliação das possíveis alterações superficiais que pode-se determinar através de mudanças na reflectância da amostra.

RESISTÊNCIA AO IMPACTO UTILIZANDO O DUPLO PÊNDULO

A determinação da resistência ao impacto é fundamental na especificação dos materiais para sua aplicação na engenharia. A normatização de ensaio tecnológico para esta determinação nas rochas que se destinam ao uso como matérias de pavimentação de edificações, tais como, o granito, utiliza o método de queda livre, para definir a resistência ao impacto. O dispositivo para ensaios é padronizado pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Neste teste apenas parte da energia é absorvida pelo granito e parte passa para o substrato de suporte do granito. Esta energia que passa para o substrato deve ser determinada para obter a energia real correspondente a resistência ao impacto da peça. Entretanto o ensaio de queda livre não permite a determinação da energia absorvida pelo substrato.

O duplo pendulo pode ser utilizado para determinação da energia absorvida pelo substrato no ensaio de resistência ao impacto. Desta forma a energia específica absorvida pelo corpo de prova, pode ser estabelecida e como consequência a resistência ao impacto pode ser definida com maior precisão.

Este artigo propõe uma técnica simples e operacional para se determinar a resistência ao impacto de granitos e cerâmicas através de um duplo pêndulo, conforme se ilustra na Figura II. A quantidade de energia transferida no impacto dos pêndulos pode ser calculada, medindo-se a velocidade com que o “input”-pêndulo recua após o impacto nos choques elásticos e a energia cinética inicial pós-impacto do “rebound”-pêndulo, que corresponde à maior parte da energia transferida. A proposta deste trabalho é apresentar uma solução que se utilize deste fato para a medição das energias envolvida no processo para estabelecer a resistência das rochas ao impacto.

DESCRIÇÃO DO DUPLO PÊNDULO

O duplo pêndulo é composto por dois pêndulos suspensos por cordão de algodão, a saber:

- “Input”-pêndulo constituído por uma bola pesando 2.919,00 g e com diâmetro de 87,1mm;
- “Rebound”-pêndulo composto de uma parte cilíndrica de 100mm de diâmetro e 85,4mm de comprimento, pesando 5.374,9g.

Sob o “Rebound”-pêndulo há dois anteparos, cuja distância entre eles é fixa e conhecida. O fotodetector e o emissor de radiação infravermelho, são posicionados ao lado destes anteparos, de modo que este esteja impedindo a passagem da radiação. Neste ponto inicial, o detector terá um sinal nulo na sua saída (vide figura a). Ao ser liberado, o “Input”-pêndulo, com altura inicial conhecida, irá colidir com o “Rebound”-pêndulo. Imediatamente após o impacto, o anteparo não mais irá impedir a radiação (figura b) e o detector irá sinalizar para o circuito contador, iniciando a cronometragem da passagem do pêndulo Rebound, até a luz seja obstruída pelo segundo

anteparo, parando a contagem de tempo (figura c). temos então armazenado nos contadores o tempo que o “rebound”-pêndulo levou para percorrer a distância entre os anteparos. Este dado é coletado pela interface paralela e lido pela porta paralela do computador.

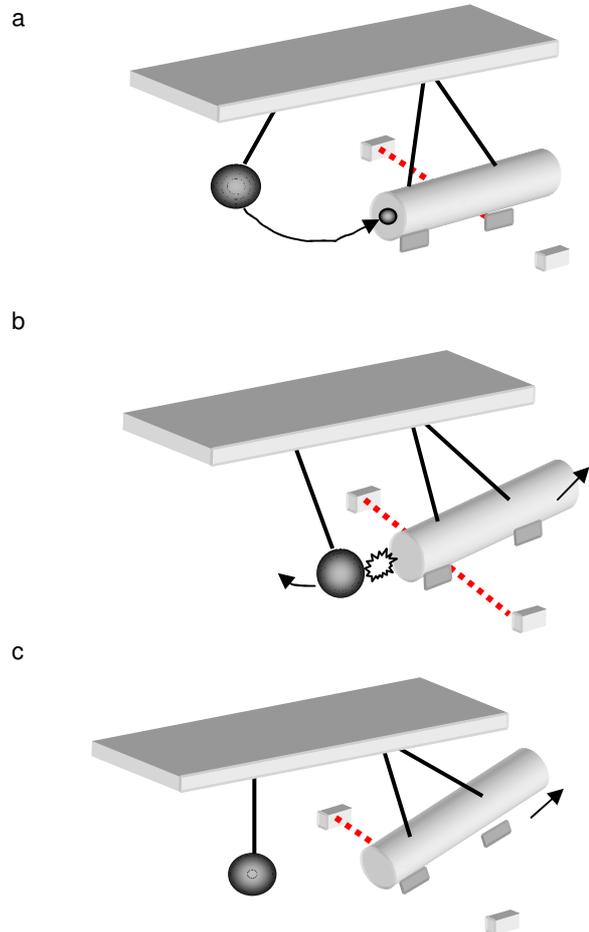


FIGURA 2 – Ilustração da seqüência do teste de impacto no duplo pendulo
a – Posição inicial; b – Impacto; c - Monitoramento do “rebound”- pêndulo

Os testes no duplo pêndulo são ilustrados na Figura 2 e conduzidos do seguinte modo:

1. Posicionamento da partícula teste no “rebound”-pêndulo;
2. Lançamento do input pêndulo de alturas diferenciadas e conhecidas, permitindo a colisão com o “rebound”-pêndulo e fragmentação do granito;
3. Interrupção do movimento do input pêndulo manualmente após o impacto;
4. Monitoramento do “rebound”-pendulo através do sistema computacional após o impacto
5. Coleta do minério para análise granulométrica após a fragmentação.

A determinação das alturas de lançamento do input pêndulo permite determinar a energia específica disponível para o ensaio. Por aplicação dos

princípios da conservação do momento na colisão do pêndulo, a velocidade do input pêndulo no momento imediatamente anterior ao impacto e conseqüentemente sua energia residual pode ser calculada.

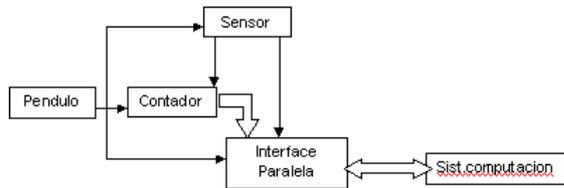
O balanço energético durante a colisão do input pêndulo com rocha é dado pela seguinte expressão:

$$E_i = E_t + E_r + E_c \quad (1)$$

Onde:

E_i = Energia disponível (energia potencial)
 E_t = Energia transmitida ao "rebound"-pêndulo
 E_r = Energia residual no "input"-pêndulo após a colisão (calculada pelo princípio da conservação do momento)
 E_c = Energia consumida na fragmentação das partículas, no qual inclui energia dissipada, térmica, acústica, etc.

O circuito de monitoramento do rebound-



pêndulo pode ser sumarizado em três módulos principais, associado a um microcomputador, conforme diagrama abaixo:

FIGURA 3 – Circuito de monitoramento do pêndulo

Ensaio com granito foram realizados para determinação da resistência a fragmentação no pendulo e no de queda livre padronizado pela ABNT. Os níveis de especifica de cominuição utilizado no pendulo são apresentados na Tabela 2.

Níveis de energia	Energia disponível (Joules)	Energia específica de fragmentação (Joules/ton)
1	50	37,24
2	54,7	40,74
3	58,7	43,7

Os testes de queda livre em uma placa de granito com as dimensões de 20 cm x 20 cm x 2,0 cm, pesando 2,10 kilogramas, apresentou uma resistência a fragmentação de 3.270,0 Joules/ton. Este dado é na realidade a energia específica disponível. Entretanto, a energia específica de fragmentação pode ser determinada a partir da equação (2), que foi determinada a partir dos ensaios de fragmentação no duplo-pendulo para os níveis de energia apresentados na Tabela 2:

$$Ecs = 1,19 + 0,723 Eis \quad (2)$$

Onde, Ecs é a energia específica de fragmentação e Eis a energia específica disponível.

CONCLUSÕES

Existe uma clara necessidade de revisão dos procedimentos e alteração das normas técnicas para caracterização de rochas ornamentais da ABNT, devendo-se ter o cuidado de adequá-las a realidade nacional e procedimentos de especificação do setor.

São apresentadas duas propostas de normatização novas para o ensaio de placas que serão utilizadas em aplicações através de inserts metálicos em fachadas de edificações e ensaio complementar para avaliação da resistência ao impacto de corpos duros sobre placas de rochas ornamentais através do aparelho de duplo pêndulo.

Apresentam-se também diversos parâmetros para interpretação dos ensaios tecnológicos para rochas com fins ornamentais, comparando-os com as indicações da ASTM e com os valores sugeridos pelo IPT.

BIBLIOGRAFIA

Frazão, E. B.; Farjallat, J.E.S. Seleção de pedras para revestimento e prioridades requeridas. Rochas de Qualidade, São Paulo. N° 124, p 80 – 93, 1995.

Frazão, E. B.; Farjallat, J.E.S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedra de revestimento. I Congresso Internacional da Pedra Natural, Lisboa, 1995. p 47 - 58.

American Society for Testing and Materials – ASTN (C 615). Standard specification for granite dimensional stone. 1992

Medeiros, T.J.L; Oliveira, F.M.C.; Melo, E.B; Barros, M.L.S.C e Rolim Filho, J.L. Propriedades físico-mecânicas das rochas ornamentais comercializadas no estado de Pernambuco. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, 2000. p 165.

DUREZA KNOOP EM ROCHAS PARA REVESTIMENTO: CORRELAÇÃO COM DESGASTE ABRASIVO

Eduardo B. Quitete¹ e Henrique Kahn²

¹ Divisão de Geologia – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Avenida Pro. Almeida Prado, 532. Cidade Universitária. CEP 05508-901. São Paulo-SP
E-mail: quitete@ipt.br

² Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373. Cidade Universitária. CEP 05508-900. São Paulo-SP
E-mail: henrkahn@usp.br

RESUMO

A dureza Knoop é determinada como a área, de formato losangular, produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga utilizada para produzir uma impressão na superfície em teste. Assim, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza.

Para este trabalho foram selecionadas 16 amostras de rochas de revestimento do Estado de São Paulo. Os ensaios de desgaste abrasivo Amsler foram realizados segundo a norma NBR 12042, da ABNT. A dureza Knoop foi determinada através de 40 impressões em um dos dois corpos-de-prova ensaiados para desgaste, após polimento. Utilizou-se carga de 1,96N.

A dureza Knoop, que pode ser expressa como a média das 40 medidas ($HK_{média}$) ou como valores intermediários obtidos em diagrama de valores individuais em ordem crescente: HK_{25} (correspondente ao valor de 25% do diagrama), HK_{50} (correspondente ao valor da metade do diagrama) e HK_{75} (correspondente a 75% do diagrama).

A melhor correlação linear entre dureza Knoop e o desgaste abrasivo Amsler foi obtida como parâmetro HK_{25} , confirmando a tendência observada na literatura. Este fato reforça a hipótese de que os minerais essenciais de dureza mais baixa são os principais condicionantes da resistência ao desgaste abrasivo. Assim, os valores de dureza Knoop média mais elevados, devido à presença de quartzo, não refletiriam, necessariamente, maior resistência ao desgaste. A quantidade de quartzo reflete-se melhor na dureza Knoop média ($HK_{média}$), com uma correlação baixa, entretanto.

O desgaste abrasivo é um ensaio que simula condições extremas de utilização da rocha, uma vez que em poucas situações um piso de granito sofrerá perda de espessura próxima a 1mm. Nesse ponto, a dureza Knoop apresenta a vantagem de só afetar alguns micrômetros da espessura, fazendo com que este parâmetro seja mais adequado para avaliar, por exemplo, uma eventual alteração da durabilidade do lustro de rochas sob ação de películas ou outro tipo de tratamento de superfície.

INTRODUÇÃO

A dureza Knoop, assim como a dureza Vickers, é um teste de dureza de micro impressão, em que essa é determinada como a área produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga utilizada para produzir a impressão na superfície avaliada. Assim, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza. A ponta Knoop produz uma impressão em forma de losango com razão largura:comprimento igual a 1:7,1, sendo que a área é calculada a partir da diagonal maior.

A dureza Knoop é calculada através da equação 1:

$$HK = \frac{1.450,6 \cdot 10^3 \cdot F}{l^2} \cdot 9,807 \quad (1)$$

Onde:

HK = Dureza Knoop em MPa

F = Carga aplicada em N (1,961N = 200gf)

l = Comprimento da diagonal maior da impressão, em μm

Em materiais maleáveis como metais, polímeros e boa parte dos minerais opacos, a dureza de micro impressão, tanto Vickers quanto Knoop, é determinada com uma extensa gama de cargas, comumente de 0,049 N a 19,6 N (5 gf a 2 kgf). Nos materiais quebradiços, como os minerais transparentes e materiais cerâmicos, a utilização de cargas elevadas gera um fissuramento intenso que impede leitura confiável das diagonais. Por isso, em tais materiais é comum a utilização de cargas inferiores a 1,96 N (200 gf). Entretanto, como esses materiais geralmente apresentam durezas elevadas, torna-se difícil a determinação de dureza com cargas inferiores a 0,49 N (50 gf), pois a impressão produzida é muito reduzida para uma medição confiável sob microscopia óptica. Para facilitar a leitura e diminuir o fissuramento, a ponta Knoop é mais recomendada pois “*uma penetração muito rasa é suficiente para produzir impressão longa o bastante para ser medida com precisão de 1%*” (Winchell, 1945). Assim, uma impressão com diagonal de 100 μm tem profundidade de apenas 3 μm , aproximadamente. A menor tendência ao microfissuramento da impressão Knoop em relação a Vickers foi também indicada por Rice et al. (1994).

Um dos primeiros estudos de dureza de micro impressão em rochas foi realizado por Brace

(1960), que conseguiu calcular a resistência à compressão uniaxial de algumas rochas monominerálicas a partir de impressões com a ponta Vickers. Para tanto, foram usadas cargas elevadas (7 a 75 kgf) e rochas de granulação muito fina, de modo que o tamanho das impressões fosse sempre superior a 10 vezes o tamanho médio das fases minerais presentes nas rochas e minerais estudados (calcário, mármore, anidrita e halita). Posteriormente, o mesmo autor (Brace, 1961) concluiu que, pelo menos para rochas de granulação menor que 1mm, as durezas Vickers (em calcário e dolomitos) e Knoop (em basaltos e quartzitos) aumentam proporcionalmente à redução da granulação dessas rochas. Foi utilizada, porém, uma carga de 150 kgf, produzindo impressões com comprimento superior a 10 grãos. Para manter essa relação, em rochas de granulação de 10 mm e dureza em torno de 5 GPa, seria necessário uma carga de 358.000 kgf e uma ponta de diamante com 10 cm na diagonal maior. Tal condição, além representar um desafio tecnológico, devido ao tamanho do diamante, estaria mais próxima a um ensaio de compressão simples do que de dureza de micro impressão.

O uso da dureza de Knoop, como teste rotineiro para avaliação de rochas, foi sugerido por Frisa Morandini e Mancini (1982). Esses propuseram a realização de impressões em 20 pontos alinhados e igualmente espaçados de 1 mm, com carga de 1,96 N (200 gf). Os autores introduziram a confecção de um “diagrama de distribuição de dureza”, que exprime os valores em ordem crescente. Dessa distribuição registram-se os valores relativos aos primeiros 25%, 50% e 75% da curva (quartil inferior, mediana e quartil superior), designados “frequências cumulativas”: HK_{25} , HK_{50} e HK_{75} . Também, sugeriram que se fosse determinado um “coeficiente de heterogeneidade”, definido como HK_{75}/HK_{25} . Não adotam o desvio padrão pois o diagrama de dureza não segue uma distribuição normal, já que depende da combinação de populações (fases minerais) independentes entre si em relação à dureza.

Conforme os autores acima, esses valores (HK_{25} , HK_{50} e HK_{75}) refletiriam a diversas situações em que a dureza da rocha está envolvida. Por exemplo, o valor HK_{75} exprimiria a influência dos minerais mais duros da rocha, que afeta principalmente a abrasividade da rocha, sendo importante na avaliação do desgaste de ferramentas de corte ou perfuração de túneis. Por sua vez, o valor HK_{25} seria um bom indicador de desgaste por abrasão, onde os minerais de dureza baixa são efetivamente desgastados, enquanto que os minerais mais duros são removidos por escarificação, independentemente de sua dureza. O HK_{50} seria um valor muito próximo da dureza média da rocha ($HK_{médio}$).

Trabalhando com 20 amostras de rochas de diversas durezas, Frisa Morandini e Mancini (1982) obtiveram um coeficiente de correlação de 0,66 entre HK_{25} e o desgaste abrasivo em mm, utilizando como abrasivo uma mistura de carbetos de silício e óleo mineral. Para HK_{50} e HK_{75} os coeficientes obtidos foram, respectivamente, 0,59 e 0,57. Por outro lado, após estudo de 16 amostras de rocha, Fornasero et al. (1988) não conseguiram boas correlações entre

dureza Knoop e serrabilidade de rochas ornamentais em teares que utilizam granalha de aço como abrasivo. Os autores, que esperavam uma boa correlação do HK_{75} com a serrabilidade, atribuem a baixa correlação à imprecisão dos dados de serrabilidade.

Vidal (1999), apresentou valores de dureza Knoop, desgaste Amsler e teor de quartzo para 4 granitos do Estado do Ceará. O estudo, voltado ao corte de granito com fio diamantado, não apresenta discussão sobre os dados de dureza Knoop e desgaste abrasivo Amsler. Entretanto, pelos dados apresentados, percebe-se uma baixa correspondência entre os valores apresentados pelas 4 amostras.

O tipo de ensaio mais difundido para avaliar a resistência ao desgaste de rochas ornamentais, consiste em submeter corpos-de-prova da mesma amostra a desgaste em disco giratório de material duro, alimentado com abrasivo. No Brasil, conforme a NBR 12042 (ABNT, 1992), utiliza-se areia quartzosa como abrasivo e o desgaste é indicado pela média da redução da espessura, em milímetros, de dois corpos-de-prova após um percurso equivalente a 1.000 m. O equipamento utilizado é a máquina Amsler, também chamada de Tribômetro Amsler, utilizando uma carga de 66 N em cada corpo-de-prova.

Na Itália, o método difere basicamente pela carga de 148 N nos corpos-de-prova e por utilizar carbetos de silício (carborundum) misturado a óleo mineral como abrasivo. Também, é comum expressar o resultado como um índice relativo a uma rocha padrão, o Granito San Fedelino; nesse caso o ensaio é realizado com um corpo-de-prova da amostra em estudo e o outro da rocha padrão e um valor maior do que 1,0 indica rocha de maior resistência ao desgaste do que o Granito San Fedelino (MARMI italiano: guia técnica, 1982).

Em um estudo sobre agregados rochosos para pavimentação, Baldino et al. (2001) concluíram que não há relação unívoca entre dureza Knoop média e desgaste medido pelo índice PSV – Polishes Stone Value. Entretanto, esses autores mostraram que o índice PSV é influenciado, entre outros fatores, pela heterogeneidade de dureza entre as fases minerais das rochas, expressa pelo coeficiente HK_{75}/HK_{25} .

MATERIAIS E MÉTODOS

O universo de amostras para este estudo compreende os corpos-de-prova do desgaste abrasivo Amsler realizados em 1999 para a elaboração do CD-ROM Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo (Frasca, 2000). As Tabelas 1 e 2 apresentam as 16 amostras selecionadas e os resultados apresentados na publicação. Foram selecionadas amostras representativas da variedade comercial e petrográfica das rochas silicáticas (comercialmente chamadas de “granitos”) então extraídas no Estado de São Paulo.

Os ensaios de desgaste abrasivo Amsler foram realizados segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992), cujos principais aspectos são assinalados no parágrafo a seguir.

Para cada amostra, são preparados, com serra diamantada, dois corpos-de-prova com dimensões 70 mm x 70 mm x 30 mm. As laterais são medidas com paquímetro e a espessura com relógio comparador, em quatro pontos, nas diagonais, a 30 mm dos vértices. Após as medidas os dois corpos-de-prova são colocados na máquina marca Amsler, modelo A 154, onde ficam dispostos diametralmente opostos, sob carga de 66 N em um disco de ferro fundido, com 2 m de perímetro no centro dos corpos de prova. Esse disco é alimentado com areia normal IPT 50¹ com vazão de 72 cm³/min e posto a girar com 30 rpm, enquanto que os corpos-de-prova rotacionam a 0,6rpm em torno de seu próprio eixo perpendicular à superfície

de contato. Após o equivalente a 500 m e 1.000 m de percurso, os corpos-de-prova são limpos com escova macia e sua espessura é novamente registrada em quatro pontos com o relógio comparador. Após os 500m iniciais os dois corpos-de-prova são recolocados na máquina Amsler, com as posições trocadas.

Para o ensaio de dureza Knoop, a face submetida a desgaste de um dos corpos-de-prova é polida com politriz manual, utilizando-se discos abrasivos em granulações decrescentes (60, 150, 300, 500, 1.000, 2.000 e 3.000 mesh; equivalentes a 250, 105, 45, 25, 12, 6 e 4µm). Após polimento, a base do corpo-de-prova é desgastada mediante torno com rebolo diamantado, para garantir o paralelismo com a superfície polida.

TABELA 1 – Identificação das amostras estudadas (Fracá, 2000)

Amostra	Nome comercial	Procedência (município)	Classificação petrográfica
01	Cinza Mauá	Suzano	Biotita monzogranito porfirítico
02	Vermelho Capão Bonito	Capão Bonito	Biotita monzogranito
06	Preto Apiaí	Apiaí	Gabronorito
16	Marrom Itu	Salto	Monzogranito
17	Dourado Caju	Indaiatuba	Monzogranito
18	Preto Piracaia	Piracaia	Biotita-hornblenda quartzo monzonito
19	Vermelho Bragança	Bragança Paulista	Monzogranito porfirítico
20	Azul Fantástico	Bragança Paulista	Biotita granodiorito gnáissico
21	Preto Bragança	Bragança Paulista	Biotita quartzo monzonito
22	Rosa Salmão	Bragança Paulista	Biotita monzogranito gnáissico
24	Prata Interlagos	São Paulo	Biotita monzogranito
28	Azul Paulista	Lavrinhas	Nefelina sienito
30	Rosa Cedro	Paraibuna	Biotita gnaisse monzogranítico
31	Rosa Biritiba	Biritiba-Mirim	Biotita sienogranito
32	Verde Mococa	Mococa	Hiperstênio monzonito gnáissico
33	Marrom São Paulo	Itu	Monzogranito

TABELA 2 – Dados das amostras estudadas (Fracá, 2000)

Amostra	Desgaste abrasivo Amsler (mm/ 1.000m)	Principais minerais (% em volume)					
		quartzo	feldspato potássico	plagioclásio	biotita / muscovita	piroxênio + anfibólio	outros
01	0,76	30	25	30	15	-	tr
02	0,60	30	35	25	10	-	tr
06	0,76	tr	-	60	-	35-40	<5
16	0,43	35	35	20	5	tr	5
17	0,57	30	35	30	5-10	-	<5
18	1,05	5	15	35	15	20-25	5
19	0,51	30	35-40	25-30	<5	-	<5
20	0,62	25	15	40	15-20	-	<5
21	0,85	5-10	25	35	15-20	5-10	<5
22	0,52	25-30	30	30	10	-	<5
24	0,67	30	25	30	15	-	tr
28	0,65	-	75-80	-	<5	5	15
30	0,80	25	35	30	5-10	-	<5
31	0,70	25-30	35-40	15	15	tr	5
32	0,62	tr	35-40	35	<5	20-25	<5
33	0,54	25	45	25	5	-	tr

¹ Areia quartzosa, passante na peneira de malha quadrada com abertura 0,6mm e retida na peneira de malha quadrada com de abertura 0,3mm.

A dureza Knoop é então determinada através de 40 impressões em cada corpo-de-prova. O comprimento da diagonal é medido, em micrometros, imediatamente após cada impressão, sob a objetiva de 50X (aumento total de 500X) com o auxílio da escala *vernier* no sistema da ocular do aparelho. Se a superfície na área da impressão ficar danificada a ponto de impedir a identificação das extremidades da diagonal, uma nova impressão é feita, de preferência no mesmo grão mineral, ou seja, em área adjacente e com mesma cor (refletância) e textura.

Como a ponta Knoop produz uma impressão anisotrópica e o aparelho utilizado não permite sua rotação de forma fácil e sistemática; optou-se, então, ao invés da simples movimentação da platina (base) nos eixos X-Y, pela movimentação da platina em apenas um eixo e rotação do corpo-de-prova. As primeiras 5 medidas são obtidas, 4 mm a partir do centro do corpo-de-prova, em um mesmo segmento de reta na direção da diagonal maior da impressão, espaçadas por 4 mm. A seguir o corpo-de-prova é rotacionado por aproximadamente 45° e mais 5 medidas são feitas, inicialmente a 20 mm a partir do centro e com o mesmo espaçamento. Este procedimento é repetido até se completar as 40 medidas, conforme o esquema ilustrativo na Figura 1.

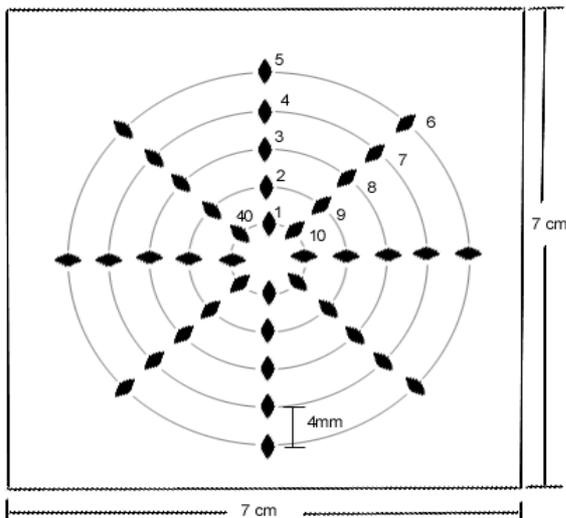


FIGURA 1 – Esquema das 40 impressões realizadas em cada corpo-de-prova. Os números indicam a ordem em que foram feitas.

Conforme o procedimento descrito, são realizadas 10 medidas em 4 direções a 45°. As impressões são feitas com carga de 1,96 N (200 gf) e medidas em um aparelho modelo Miniload 2, marca E. Leitz. Previamente às medidas em cada um dos corpos-de-prova são efetuadas 3 impressões em uma placa de cobre, para limpeza da ponta de diamante.

Após o cálculo da dureza nas 40 impressões os valores são distribuídos em ordem crescente. Dessa distribuição obtêm-se os valores relativos aos primeiros 25% (25° percentil ou quartil inferior), 50% (mediana) e 75% (75° percentil ou quartil superior) da curva, designados “frequências cumulativas”: HK₂₅, HK₅₀ e HK₇₅. Calcula-se também a dureza média e o

“coeficiente de heterogeneidade”, adotado como HK₇₅/HK₂₅.

RESULTADOS

Os valores de desgaste abrasivo Amsler foram apresentados na Tabela 2. Os resultados do ensaio de dureza Knoop estão resumidos na Tabela 3, a seguir.

DISCUSSÃO

A melhor correlação linear entre dureza Knoop e o desgaste abrasivo Amsler foi obtida como parâmetro HK₂₅, confirmando a tendência observada por Frisa Morandini; Mancini (1982). Embora esses autores tenham apresentado coeficiente de correlação (melhor do que o obtido neste trabalho - 0,66 e 0,49, respectivamente), utilizaram uma equação potencial para essa correlação. Para uma equação linear, os dados apresentados por Frisa Morandini; Mancini (1982) geram um coeficiente de 0,54, bastante próximo do valor ora obtido.

O fato de o desgaste apresentar melhor correlação como o HK₂₅ reforça a hipótese de que os minerais essenciais de dureza mais baixa são os principais condicionadores da resistência ao desgaste abrasivo (Frisa Morandini; Mancini, 1982). Provavelmente, porque os minerais de dureza mais alta são arrancados no decorrer do ensaio, independentemente de quão alta é a dureza. Assim, os valores de dureza Knoop elevada devido à presença de quartzo não refletiriam, necessariamente, maior resistência ao desgaste. Nesse caso, apesar de baixa, a melhor correlação entre a dureza Knoop e o desgaste Amsler seria (e realmente foi) obtido com HK₂₅, que não seria influenciado por teores de quartzo dessa ordem. Portanto, o estudo petrográfico não deve ater-se simplesmente à porcentagem dos minerais presentes; é necessário enfatizar outros parâmetros que influenciam a dureza e resistência ao desgaste, como grau de alteração dos minerais, o microfissuramento e a textura das rochas (particularmente granulação). A quantidade de quartzo reflete-se melhor na dureza Knoop média, com uma correlação baixa (0,35).

TABELA 3 – Resultados da dureza Knoop

Nº	Amostra Nome comercial	HK ₂₅	HK ₅₀	HK ₇₅	HK _{médio}	HK ₇₅
		(GPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)	HK ₂₅
01	Cinza Mauá	5,6	6,9	8,2	7,1	1,45
02	Vermelho Capão Bonito	6,3	7,8	8,8	7,9	1,41
06	Preto Apiaí	6,2	7,2	7,8	7,0	1,25
16	Marrom Itu	6,5	7,4	8,4	7,4	1,30
17	Dourado Caju	5,9	6,8	7,8	7,0	1,33
18	Preto Piracaia	2,7	4,5	6,5	4,4	2,27
19	Vermelho Bragança	5,5	6,4	9,4	7,4	1,72
20	Azul Fantástico	6,0	7,0	8,0	7,0	1,32
21	Preto Bragança	4,3	6,2	7,3	5,7	1,69
22	Rosa Salmão	5,0	6,4	7,2	6,3	1,43
24	Prata Interlagos	5,5	7,0	8,2	7,1	1,51
28	Azul Paulista	4,5	5,8	6,7	5,6	1,47
30	Rosa Cedro	4,4	5,2	6,2	5,7	1,42
31	Rosa Birritiba	5,6	7,0	8,6	7,4	1,54
32	Verde Mococa	5,3	6,6	7,3	6,4	1,36
33	Marrom São Paulo	5,0	6,0	7,4	5,7	1,49

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a dureza Knoop e o desgaste Abrasivo Amsler fornecem dados com tendência à proporcionalidade direta, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste. Entretanto, essa associação não é precisa, sendo baixa a correlação entre estas duas propriedades ($R^2 = 0,49$ para HK_{25} e $0,32$ para $HK_{média}$).

A dureza de micro impressão e o desgaste abrasivo são parâmetros que podem ser associados a diversos tipos de situações com ocorrência de desgaste, seja da rocha ou de ferramenta utilizada para alterá-la, como os diversos tipos de ferramenta de corte, de perfuração e de polimento. Nenhuma das duas propriedades deve ser usada como único meio de se prever o desempenho ou consumo em equipamentos de trabalho na rocha.

Quando o ensaio de dureza Knoop é realizado isoladamente, os principais parâmetros que devem ser utilizados em sua interpretação são o HK_{25} e a dureza média ($HK_{média}$). Essa abordagem é justificada pela melhor correlação desses dois parâmetros com os outros indicadores – desgaste, teor de quartzo e granulação. Correlações da dureza Knoop com a granulação para as 16 amostras foram apresentadas por Quitete, 2002.

O desgaste abrasivo é um ensaio que simula condições extremas de utilização da rocha, uma vez que em poucas situações um piso de granito sofrerá perda de espessura próxima a 1 mm. Nesse ponto, a dureza Knoop apresenta a vantagem de só afetar alguns micrômetros da espessura, fazendo com que este parâmetro seja mais adequado para avaliar, por exemplo, uma eventual alteração da durabilidade do lustro de rochas sob ação de películas ou outro tipo de tratamento de superfície. Este exemplo é particularmente, aplicável a mármore, que devido à sua dureza baixa, seriam mais sensíveis a esses tratamentos.

REFERÊNCIAS

American Society For Testing And Materials (ASTM). Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic - C 241. West Conshohocken. 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão – NBR 12042. Rio de Janeiro. 1992.

Baldino, V.; Barisone, G.; Greggio, G. High polished stone value aggregates in Piedmont (Northern Italy). In: Aggregates 2001 – Environment And Economy, 2001, Helsinki. Proceedings. Tampere: Tampere University of Geology, 2001. v. 1, p. 69-73.

Brace, W.F. Behavior of rock salt, limestone and anhydrite during indentation. Journal of Geophysical Research, Washington. 65, n. 6, p. 1773-88, 1960.

_____. Dependence of fracture strength of rocks on grain size. Bulletin of The Mineral Industries Experiment Station – Pennsylvania State University, n.76, p.99-103, 1961.

Frasca, M.H.B. de O. (Coord.). Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2000. (Publicação IPT, 2651) CD-ROM.

Frisa Morandini, A.; Mancini, R. Applications of microhardness tests to the technical evaluation of dimension stones. In: IAEG Congress, 4., New Delhi, 1982. Proceedings. [S.l.]: [s.n.], 1982. v. 6.p. 21-31.

FORNASERO, D.; FRISA MORANDINI, A.; MANCINI, R. Petrografia e durezza di graniti assunti come termini di una scala di segabilità. Marmomacchine, Milano, n. 83, p. 97-108, 1988.

Marmi italiani: guida tecnica. Milano: Istituto Nazionali per il Commercio Estero/Vallardi Editori, 1982. 145p. v. 2.

Quitete, E.B. Dureza Knoop para revestimentos: metodologia e correlação com desgaste abrasivo. São paulo; 2002. 70p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rice, R.W.; Wu, C.; Borchelt.F. Hardness–grain-size relations in ceramics. Journal of the American Ceramic Society, Easton, v. 77, n. 10, p. 2539-53, 1994.

Vidal, F.W.H. Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará. São Paulo, 1999. 173p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Winchell, H. The Knoop microhardness tester as a mineralogical tool. The American Mineralogist, Lancaster, v. 30, n. 9-10, p. 583-95, 1945.

ESTUDO DE ALTERAÇÕES EM ROCHAS ORNAMENTAIS – GRANULITOS DA REGIÃO DE CHOROZINHO (CE)

Anna Paula Lima Costa⁴, José Araújo Nogueira Neto¹, Ariston Araújo Cajaty¹, César Ulisses Vieira Veríssimo¹, Ticiano Jozé Saraiva dos Santos², Maria Angélica Batista Lima³, Mary Lucia da Silva Nogueira⁵ e Alexandre M. Carvalho¹

¹Universidade Federal do Ceará/DEGEO – Bloco 912 – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail: nogueira@ufc.br

²Universidade Estadual de Campinas/DGRN – Caixa Postal 6152 – CEP 13.083-970

³Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial /DITEM – Av. Prof Rômulo Proença, s/n – Campus do PICI – 60.451-970 – Fortaleza- CE

⁴Mestrado em Geologia – Universidade Federal do Ceará - Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail: annacostac@bol.com.br

⁵Bolsista de Iniciação Científica/ Universidade Federal do Ceará - Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE

RESUMO

A região de Chorozinho situada na porção nordeste do Estado do Ceará, apresenta uma grande diversidade de rochas granulíticas com potencial para exploração como rocha ornamental. Entre os tipos ortoderivados predominam os gnaisses enderbíticos, enderbitos e charno-enderbitos, enquanto nos paraderivados ocorrem exclusivamente silimanita – granada gnaisses (khondalitos). As associações minerais são constituídas, respectivamente, por: ortopiroxênio (**opx**) + clinopiroxênio (**cpx**) + plagioclásio (**pl**) + quartzo (**qz**) ± granada (**grd**) ± biotita (**bt**) ± hornblenda (**hb**) nas ortoderivadas, e plagioclásio (**pl**) + feldspato-K (**k-fel**) + biotita (**bt**) + silimanita (**sil**) + granada (**grd**) + rutilo (**rut**) + ilmenita (**ilm**) nas paraderivadas. O conjunto paraderivado, foi submetido a fusão parcial em alguns setores, com geração de mobilizados de composição granítica, nos quais predominam as cores branca e bege. Tanto os silimanita - granada gnaisses, quanto os produtos resultantes da migmatização, apresentam as seguintes reações metamórficas: (i) **grd + rut ↔ ilm + pl + qz**; (ii) **grd + rut ↔ ilm + sil + qz**; (iii) **grd + k-fel + H₂O ↔ bt + sil + qz** e (iv) **pl ↔ grd + sil + qz**. Nas reações (i) e (ii) são freqüentes feições em franjas e coroas reacionais, onde **ilm + rut** ocorrem envolvidas por finas faixas de **pl**, que por sua vez estão circundadas por grãos de **grd**. Os **pl** possuem teor em anortita variando entre 32,5 e 43,2 (An_{32,5-43,2}), enquanto as **grd** são predominantemente do tipo almandina, de composição X_{Ca} (0,039 – 0,058), X_{Fe} (0,648 – 0,680), X_{Mg} (0,255 – 0,289). As **bt** são principalmente magnesianas, tendendo a flogopita, com razões Fe/(Fe+Mg) entre 0,20 e 0,47. Tais associações ocorrem formando bandas máficas, que se alternam às bandas e porções quartzo-feldspáticas (nevulação). Partes dispersas dos maciços explorados, exibem manchas de alteração em tons amarelo a amarelo-ocre (*tipo Juparaná*) dispostas em faixas alternadas, resultando numa menor padronização do litotipo. As manchas ocorrem associadas às fraturas, sobretudo nas interseções entre estas e as bandas máficas. A percolação de água ao longo das fraturas, promove a quebra dos minerais primários que contém Fe⁺² (ilmenita, biotita) na estrutura cristalina, ocasionando a oxidação a Fe⁺³

e, a neoformação de oxi-hidróxido de ferro. Tanto os afloramentos como as frentes de lavra apresentam uma baixa penetrabilidade e freqüência de fraturas e nevulações, o que não constitui um problema para o seu aproveitamento e exploração como rocha ornamental.

INTRODUÇÃO

Diversas ocorrências de rochas granulíticas na região de Chorozinho, nordeste do Ceará, têm demonstrado grande potencial exploratório como rochas ornamentais e de revestimento. Entretanto, algumas pontuações de alterações fazem com que haja perda da continuidade estética nos silimanita-granada-gnaisses, e mobilizados graníticos associados. Tais alterações, por outro lado, não estão distribuídas em toda a extensão dos afloramentos, não comprometendo, portanto a aplicação destes litotipos.

Abordaram-se no texto em epígrafe, as relações existentes entre a química mineral dos principais constituintes das rochas granulíticas paraderivadas, e os processos de alteração/alterabilidade que afetam as mesmas.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA PESQUISADA

A área alvo de pesquisa esta enquadrada nas folhas Baturité (SB.24-X-A-I) e Beberibe (SB.24-X-A-II), totalizando uma superfície de aproximadamente 58 Km² (Figura 1), sendo delimitada pelos vértices exibidos na Tabela 1.

TABELA 1- Coordenadas UTM da área estudada

Nº Vértice	Coordenadas	
01	9529000	0552000
02	9529000	0560000
03	9522000	0560000
04	9522000	0556000
05	9518000	0556000
06	9518000	0552000

O acesso à área é efetuado pela BR 116, partindo-se de Fortaleza até o município de Chorozinho, distando aproximadamente 65 Km.

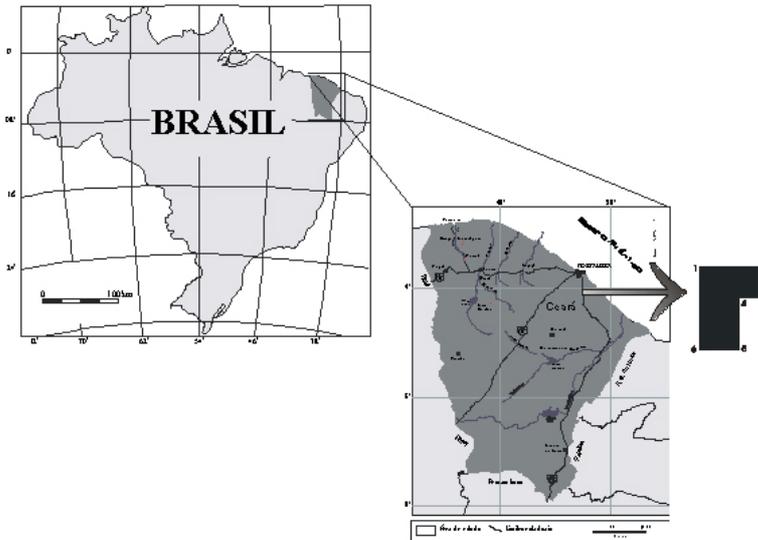


FIGURA 1 – Mapa de Localização de Área Estudada

ARCABOUÇO GEOLÓGICO DA ÁREA: UMA SÍNTESE

A região que engloba o município Chorozinho (NE do Ceará), exhibe uma seqüência de rochas metamórficas de alto grau, formada por silimanita - granada gnaisses, granada gnaisses, gnaisses enderbíticos, enderbitos e gonditos (Figura 2). O conjunto apresenta foliação principal segundo NE-SW com mergulhos entre 50° e 60° para SE, e por vezes, essa mesma foliação esta disposta de forma plano axial a dobras isoclinais em escalas diversas

(centimétricas a decamétricas). Em termos de feições rúpteis, são reconhecidas duas principais direções de fraturas, quais sejam, N85°E (265°Az)/vertical e N64°E (244°Az)/vertical, e em menor freqüência, são também registradas duas outras famílias, N72°E e N06°E, ambas verticais (Costa, 2000).

Quanto ao grau metamórfico, os litotipos granulíticos foram submetidos a temperaturas entre 770°C a 800°C, e pressões da ordem de 6 a 7 kbar (Almeida & Nogueira Neto, 1997; Moraes, 2000).

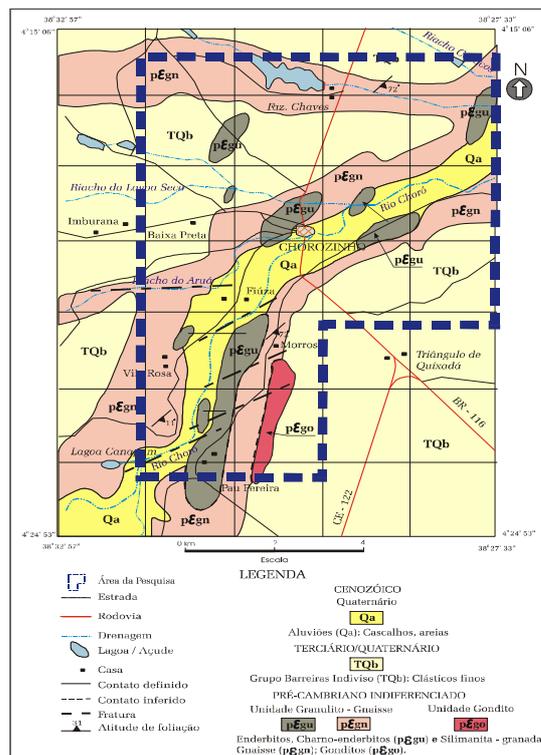


FIGURA 2 – Mapa Geológico da Região de Chorozinho (Ce) (Modificado de Moraes, 2000)

Os silimanita-granada gnaisses possuem associação mineral constituída por plagioclásio – feldspato potássico – quartzo – biotita - granada - sillimanita, e mostram estrutura bandada. As granadas são pré-cinemáticas, sendo envoltas pela foliação formada por biotitas (\pm sillimanita), que se alternam com bandas quartzo-feldspáticas.

Os enderbitos exibem textura granoblástica inequigranular, e registram associação com clinopiroxênio – ortopiroxênio – plagioclásio – hornblenda – granada – quartzo. Simplectitos de plagioclásios/piroxênios e coroas de reação em torno de granadas envolvidas por plagioclásios e piroxênios, são feições encontradas freqüentemente nessas rochas.

A área estudada, além de constituída pelas Unidades Pré-Cambrianas anteriormente discriminadas, é predominantemente recoberta por sedimentos Cenozóicos (Quadro 1).

Os litotipos que compõem o Pré-Cambriano foram individualizados, com base em dados estruturais, metamórficos, e de suas relações de contato, em duas unidades distintas: i – Unidade Granulito - Gnaisse; e ii – Unidade Gondito (Costa, 2000; Costa *et al.*, 2001). Quanto a origem dos protolitos, a Unidade Granulito – Gnaisse pode ser subdividida em Granulitos Paraderivados e Granulitos Ortoderivados, correspondendo respectivamente a silimanita-granada-gnaisses / granada gnaisses e enderbitos / gnaisses enderbíticos.

Os sedimentos Cenozóicos compreendem sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário), coberturas colúvio-eluviais (Tércio-Quaternário) e depósitos flúvio-aluvionares (Quaternário).

QUADRO 1 - Coluna Estratigráfica da Região de Chorozinho

CENOZÓICO	
<p>QUARTENÁRIO (Qa)</p> <ul style="list-style-type: none"> Depósitos flúvio-aluvionares e de mangues: Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes. 	
DISCORDANCIA	
<p>TÉRCIO-QUARTENÁRIO</p> <ul style="list-style-type: none"> Coberturas colúvio-eluviais (TQc): Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes lateritizados na base. <ul style="list-style-type: none"> Formação Barreiras (TQb): Sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulínica com cimento argilo-ferruginosos e às vezes silicoso. 	
DISCORDANCIA	
PRÉ - CAMBRIANO	
<ul style="list-style-type: none"> Complexo gnáissico 	<p>Unidade Granulito - Gnaisse: silimanita - granada gnaisses; granada - biotita gnaisses migmatizados, enderbitos e charno - enderbitos.</p> <p>Unidade Gondito: Gonditos</p>

PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

Considerando que a maior freqüência na ocorrência de alterações situa-se nos granulitos paraderivados, trataremos especificamente da petrografia e dados da química mineral destas rochas.

Granulitos Paraderivados (silimanita -granada-gnaisse/granada gnaisse)

Estes litotipos ocorrem na porção sudeste da área, próximo a localidade de Morros, mais precisamente na Fazenda Ebenezer e na porção centro-norte da área (Fazenda Chaves), em afloramentos de extensões bastante expressivas.

Os silimanita-granada gnaisses apresentam texturas que variam de granoblásticas a granolepidoblásticas. Desenvolvem bandas “máficas” englobando granadas pré-cinemáticas, que por sua vez, estão envolvidas pela foliação formada por biotitas (\pm silimanita). As sessões estudadas da porção centro-norte da área (Fazenda Chaves), apresentam foliação pouco marcada, com variações entre bandas de cristalização quartzo-feldspáticas e mosaicos granoblásticos dos mesmos minerais. Apresentam granulação variando de média a grossa, de cor cinza a cinza-escuro. São reconhecidos quartzos, silimanita, feldspato, biotita, granada, rutilo, ilmenita e opacos.

Ao microscópio, os plagioclásios, em geral anedrais, mostram-se com geminação do tipo albita-periclina, contendo por vezes inclusões aciculares de silimanita. Estão intensamente sericitizados e predominam em quantidade sobre os feldspatos potássicos.

Os feldspatos potássicos apresentam-se anedrais, geralmente fraturados, correspondendo a mesoperititas predominantemente.

Os quartzos apresentam extinção ondulante, em geral estão associados aos feldspatos, originando bandas félsicas de recristalização, dentro das quais os contatos entre grãos são retos. Por outro lado, contatos côncavo-convexos são reconhecidos com freqüência nestas bandas, além de mosaicos granoblásticos.

Exibindo tamanhos variados, as biotitas ocorrem como lamelas, e em alguns casos exibem as linhas de clivagem preenchidas por opacos. Marcam a foliação quando presente.

As granadas, freqüentemente sob a forma de grãos pré-cinemáticos, estão bastante fraturadas e são envoltos pela foliação. Ocorrem também como pequenos grãos em agregados de reações metamórficas, com surgimento de fases minerais às suas expensas.

As silimanitas apresentam-se sob a forma de pequenas agulhas (fibrolitas), ao longo das bandas quartzo-feldspáticas, ou constituindo a foliação

juntamente com a biotita nas bandas máficas. Ocorrem também inclusas nos feldspatos.

Os minerais acessórios presentes são: rutilo, ilmenita, zircão e apatita.

A associação metamórfica mineral principal é formada por : plagioclásio + quartzo + biotita + granada + ortoclásio + silimanita ± ilmenita ± rutilo.

As reações metamórficas de surgimento dos minerais mais comuns, encontradas nas seções delgadas, são as seguintes:

- (i) Almandina + feldspato K + H₂O ⇌ biotita + silimanita + quartzo

$$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$
- (ii) granada + rutilo ⇌ ilmenita + plagioclásio + quartzo (Fig. 3)

$$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 2\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 6\text{TiO}_2 \Leftrightarrow 6\text{FeTiO}_3 + 3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 3\text{SiO}_2$$
- (iii) granada + rutilo ⇌ ilmenita + silimanita + quartzo

$$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 3\text{TiO}_2 \Leftrightarrow 3\text{FeTiO}_3 + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$
- (iv) anortita ⇌ granada + silimanita + quartzo

$$3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \Leftrightarrow \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 2\text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$

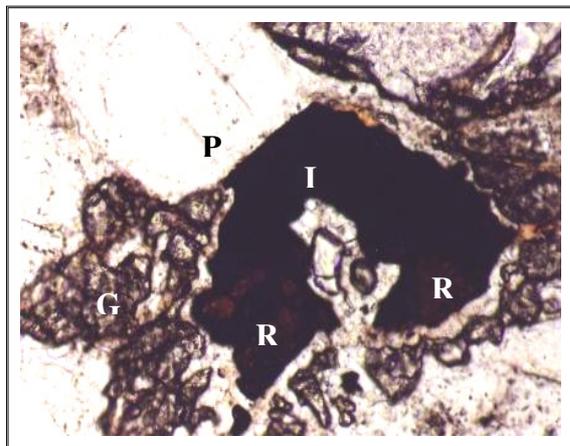


FIGURA 3 – Reação metamórfica mineral envolvendo granada, rutilo, ilmenita, plagioclásio e quartzo. (AT=50X).

Análises químicas minerais foram realizadas via microsonda eletrônica, com intuito de um melhor entendimento acerca das reações metamórficas presentes, e dos processos de alteração.

Os minerais analisados foram biotitas, granadas, feldspatos, ilmenitas e rutilos.

O cálculo das formulas estruturais obedeceu aos seguintes parâmetros: biotitas – base de 24 oxigênios (Deer *et al.*, 1972); granadas – base de 8 cátions, 12 oxigênios e proporções Fe⁺² e Fe⁺³ (Knowles, 1987), com membros finais das granadas conforme Rickwood (1968); feldspatos – base de 32

oxigênios (Deer *et al.*, 1966); ilmenitas e rutilo, respectivamente com 9 e 10 oxigênios.

As biotitas apresentam relação estrutural correspondendo aos valores Si^(5,559 - 5,898) Al^{IV(2,102 - 2,440)} Al^{VI(0,561 - 1,348)} Ti^(0,274 - 0,510) Fe^{+2(1,383 - 2,204)} Mg^(2,469 - 3,922) Ba^(0,000 - 0,013) Ca^(0,000 - 0,019) Na^(0,008 - 0,042) K^(1,668 - 1,992) O₂₀ (OH)₄. Nesta configuração, as razões Fe/[Fe+Mg] variam de 0,26 a 0,47, posicionando as biotitas mais próximas ao extremo da annita (Mg/[Mg+Fe] = 1).

O conjunto das granadas definiu a fórmula Si^(3,009 - 3,064) Al^{VI(1,977 - 2,021)} Cr^(0,000 - 0,005) Ti^(0,000 - 0,007) Fe^{+2(1,936 - 2,266)} Mg^(0,513 - 0,891) Mn^(0,046 - 0,069) Ca^(0,066 - 0,166) Na^(0,000 - 0,005) O₁₂, resultando nos membros finais, almandina (65,29 - 77,05) - grossularita (2,13 - 5,51) - piropo (17,43 - 29,85) - espessartita (1,55 - 2,36) - uvarovita (0,00 - 0,25) .

Considerando as proporções entre albita-anortita para os plagioclásios, e albita-ortoclásio nos feldspatos alcalinos, as análises exibem respectivamente Ab^(55,5 - 81,2) An^(16,7 - 43,2) e Ab^(12,7 - 22,6) Or^(77 - 87,2), correspondendo às relações, Si^(10,11 - 11,98) Al^(4,66 - 5,82) Ca^(1,67 - 0,67) Na^(2,142 - 3,265) K^(0,036 - 0,096) e Si^(11,93 - 11,97) Al^(4,66 - 5,82) Ca^(0,001 - 0,017) Na^(0,525 - 0,909) K^(3,09 - 3,51). Assim, os plagioclásios variam de oligoclásio a andesina, e os feldspatos alcalinos como ortoclásio.

Ilmenitas e rutilos por diversas vezes ocorrem intercrescidos, e apresentam as formulações respectivas: Fe^{+2(3,09 - 3,38)} Ti^(3,30 - 3,38) O₉ e Fe^{+2(0,003 - 0,015)} Ti^(4,87 - 4,99) O₁₀. Opacos sob a forma de óxido de ferro foram também analisados, em que o Fe representa o ferro total, cujo resultado corresponde a Fe^(9,793) Cr^(0,10) Al^(0,028) O₁₀.

ALTERAÇÕES

As reações metamórficas anteriormente indicadas em (i), (ii) e (iii) e a presença de óxido de ferro como mineral primário, demonstra potencial de alteração, por efeito de oxidação do Fe⁺² constituinte da composição de ilmenitas, biotitas e óxidos de ferro. Tal efeito ocorre via atuação de água na decomposição daqueles minerais, com formação de oxi-hidróxido de ferro (2 Fe⁺² + 2[OH]⁻ + O₂ ⇒ 2FeOOH). Indícios deste processo são observados ao nível microscópico, pelas manchas ferruginosas ao longo de biotitas e ilmenitas, e também em afloramento, quando da interseção entre bandas máficas ricas naqueles minerais, e o conjunto de fraturas abertas (NE-SW) (Figura 4). Assim, a medida em que a água percola através das fraturas, ou descontinuidades outras, as porções da rocha mais susceptíveis de oxidação (Fe), desenvolverão alterações ferruginosas.



FIGURA 4 – Interseção entre fraturas abertas NE-SW e bandas ricas em biotita, ilmenita, granada e opacos, exibindo alterações ferruginosas.

CONCLUSÕES

Considerando os aspectos da química mineral, associados aos dados de campo, podemos concluir:

- As alterações ferruginosas são preferencialmente encontradas nos silimanita-granada gnaisses e/ou seus produtos de fusão parcial (mobilizados);
- Quando ocorrem interseções entre fraturas abertas (NE-SW), e bandas ricas em minerais ferromagnesianos e óxidos, as alterações estão sempre presentes;
- Reações metamórficas envolvendo biotita, ilmenita, rutilo e granadas prestam-se como indutoras dos processos de alteração;
- As alterações ocorrem pelo efeito da liberação de Fe^{+2} de minerais como biotita, ilmenita e óxido de ferro, seguido de oxidação com formação de oxi-hidróxido de ferro, sob a forma de película ferruginosa;
- O processo de alteração esta restrito a porções pouco expressivas de alguns afloramentos, não comprometendo dessa forma, a exploração dos granulitos como rochas ornamentais.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Almeida, A.R. & Nogueira Neto, J.A. 1997. Granulitos de Chorozinho – CE: Evidências de Descompressão em Rochas Eclogíticas. In : XVII Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, SBG. Boletim 15: p.243-246.
- Costa, A.P.L. 2000. Granulitos de Chorozinho (NE do Ceará): Levantamento Geológico e Caracterização Tecnológica como Rochas Ornamentais. Monografia de Graduação. Curso de Geologia – UFC. 64p.
- Costa, A.P.L.; Nogueira Neto, J.A.; Cajaty, A.A.; Lima, M.B.; Torquato, M.F.B.; Veríssimo, C.U.V. 2001. Granulitos de Chorozinho (NE do Estado do Ceará): Caracterização Tecnológica de Alguns Litotipos, Voltada ao Aproveitamento

Como Rochas Ornamentais. In: XVIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, SBG. Boletim 16: p.155

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1966. An introduction to rock forming minerals. 1 ed. London, Longman Group Ltd. 528 p.

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1972. Rock forming minerals: orth- and ring silicates. (Vol. 1) London, Longman Group Ltd. 919p.

Knowles, C. R. 1987. A basic program to recast garnet end members. Computers and Geosciences, 13: 655-658.

Moraes, A.L.A. 2000. Granulitos de Chorozinho : Caracterização Petrográfica e Geoquímica. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia – UFC. 110p.

Rickwood, P. C. 1968. On recasting analyses of garnet into end member molecules. Contributions of Mineralogy and Petrology, 18: 175-198.

OS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS E SUA RELAÇÃO COM OS EVENTOS TECTÔNICOS ATUANTES NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Vanildo Almeida Mendes

Geólogo CPRM – SUREG-RE
Av. Sul, 2291 – Afogados – Recife – PE – CEP 50.770-011
Fone: (81)3428-0623 - E-mail: geremipe@fisepe.pe.gov.br

RESUMO

Neste trabalho foi elaborada, de forma simplificada, uma correlação entre os principais jazimentos de rochas ornamentais, em atividade no país, com os eventos tectônicos que atuaram em nosso território. Procurou-se ressaltar a importância do conhecimento geológico regional na prospecção de novas ocorrências, sobretudo através da definição dos condicionantes lito-estruturais intervenientes na formação das rochas e a conseqüente interpretação dos tipos possíveis de serem detectados em determinada área geográfica. Descreve, também, a divisão do território brasileiro em Províncias Geológicas, que apresentam regimes tectônicos próprios, porém passíveis de gerar ocorrências de rochas de rara beleza e originalidade, com amplas perspectivas de aceitação mercadológica. Têm-se ainda, a interação dos granitos em produção, com a sua Província Geológica, posicionamento cronológico, classificação petrográfica e o nome comercial do litótipo.

INTRODUÇÃO

Os fatores geológicos condicionam a existência e a forma de ocorrência de rochas para fins ornamentais. Em conseqüência, os mesmos devem ser estudados, avaliados e colocados em bases técnicas para servirem de suporte em futuros trabalhos de prospecção.

Em síntese, o conhecimento do arcabouço geológico-estrutural de determinada região, permite a elaboração de bases previsionais acerca dos tipos de rochas passíveis de serem prospectadas. Os eventos tectônicos atuantes e a ambiência geológica resultante, condicionam a existência e distribuição das rochas, incluindo a vocação dos terrenos para materiais comuns, ou os tipos excepcionais de caráter mais nobre. Nesse contexto a cor, textura, deformação estrutural, características físico-mecânicas e o quadro aproximado de reservas estão diretamente relacionados aos eventos tectônicos atuantes, criando, assim, os condicionantes geológicos regionais e locais formadores de tais jazimentos.

No texto em tela, procurou-se relacionar os tipos de granitos ornamentais conhecidos com os eventos tectônicos atuantes no território brasileiro, fazendo-se assim uma sucinta apreciação e correlação da nossa história geológica com os jazimentos de rochas para fins ornamentais. Em suma, pretende-se mostrar a importância do estudo geológico regional como ferramenta auxiliar de prospecção de rochas, permitindo a geração de

informações sobre os materiais possíveis de serem detectados e dos fatores de cunho geológicos intervenientes em sua geração, cuja análise e compreensão é de fundamental importância para o êxito dos futuros trabalhos de pesquisa e lavra.

EVENTOS TECTÔNICOS ATUANTES E SUA ASSOCIAÇÃO COM OS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O território brasileiro, devido à excepcional diversidade geológica do seu embasamento cristalino, evidencia uma ampla vantagem competitiva em termos de rochas ornamentais, incluindo desde os granitos ditos comuns aos materiais de alta cotação comercial, sobretudo a nível internacional. A descoberta destas jazidas são conseqüência de trabalhos de pesquisa geológica, através de mapeamentos geológicos sistemáticos efetuados por órgãos governamentais de pesquisa, notadamente pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, os quais possibilitaram ao longo das 3 (três) últimas décadas a formação de um amplo acervo de conhecimentos geológicos, além de propiciar a identificação da vocação mineral de suas diversas regiões.

Em termos geológicos, o país mostra uma diversidade de ambientes geotectônicos, cuja história se estende do Arqueano ao Recente. Sua evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A cratonização de seu embasamento e a conseqüente formação de jazimentos de rochas com fins ornamentais, ocorreram de maneira progressiva e cíclica, em pelo menos 4 (quatro) eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano, Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico. Tais eventos propiciaram a consolidação deste continente, formado por núcleos arqueanos de grande extensão, juntamente com fragmentos menores, envolvidos por faixas dobradas proterozóicas (Figura 1).

No que concerne à geotectônica, o território brasileiro está dividido em 8(oito) Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais. No momento os estados situados dentro da Província Mantiqueira(Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), são responsáveis por 58% da produção nacional, seguido da Província São Francisco (Bahia e Minas Gerais) com cerca de 30%. A Província Borborema, que abrange os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e porção norte da Bahia, é responsável por 10%, enquanto as Províncias Tocantins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas

Norte e Amazonas Sul, contemplam 2% do total do país. No que concerne as Províncias do Paraná e Parnaíba, apesar de no momento não apresentarem produção de rochas ornamentais, a diversidade de sua geologia pressupõe a existência de sítios favoráveis à ocorrência deste importante insumo de nossa indústria extrativa mineral (Figura 1).

O Arqueano acha-se representado por terrenos antigos, constituintes da infraestrutura de 2 (dois) extensos núcleos cratônicos, denominados de Amazônico e São Francisco, além de uma série de fragmentos menores de composição gnáissico-migmatítico e migmatítico-granitóide, metamorfisados na fácies anfíbolito alto a granulito, onde dominam ortognaisses bandados de composição tonalito-trondhjemito-granodiorítica com alternância de bandas máficas e félsicas. Esta associação litológica encerra um ambiente propício à ocorrência de rochas ornamentais de alta cotação internacional, notadamente em leucogranitos (granitos brancos) e rochas verdes movimentadas (terrenos granulíticos).

Ainda no Arqueano, inclusos nos terrenos gnáissicos-migmatíticos, despontam terrenos tipo "Greenstone Belts", caracterizados por conter sedimentos imaturos e vulcanismo máfico e félsico, metamorfisados na fácies xisto verde, sendo intrudidos por um cortejo de granitóides sódicos, tonalíticos e granodioríticos. No que tange a granitos ornamentais, o baixo grau de recristalização metamórfica desta seqüência confere a tais rochas poucas propriedades para este uso. Como exceção tem-se os corpos de composição tonalito-granodiorítica, resultantes dos processos de fusão parcial das seqüências vulcano-sedimentares de baixo grau, cujo aspecto textural lhes pressupõe um bom aproveitamento para fins ornamentais, fato este exemplificado pelos Granitos Brown Colonial, Snow Flocks e Green Gabriela, situados na região de Iaçua-Bahia.

Associados aos terrenos arqueanos, mas precisamente em zonas rifteadas da crosta continental, tem-se seqüências metassedimentares paleoproterozóicas, contendo vulcanismo e sedimentos pelítico-psamíticos, metamorfisados na fácies xisto verde a anfíbolito, com intrusões máfico-ultramáficas. Tais mafitos, apresentam possibilidades de encerrar excelentes jazimentos de granitos ornamentais de tonalidades escuras, notadamente preta a verde-escura, de grande aceitação no mercado japonês.

O Paleoproterozóico está representado por faixas móveis, envolvendo os núcleos e fragmentos cratônicos primitivos. São resultantes da agregação de continentes pré-existentes, durante a Tectogênese Transamazônica, sendo constituídos por terrenos metamórficos de alto grau (fácies anfíbolito superior a granulito). Em função do intenso regime tectônico compressivo atuante nestes cinturões, notadamente nas zonas sujeitas a subducção, teve início a reagregação das massas continentais, produzindo deformações nas rochas.

A culminação de tais processos, resultou no desenvolvimento de expressivos arcos magmáticos, caracterizados por uma associação plutônica

cálcioalcalina, contendo tipos dioríticos, gabros, tonalitos, charnokitos e granodioritos. Tais cinturões, constituídos principalmente por gnaisses, migmatitos e ortognaisses de composição variada, encerram juntamente com os núcleos e fragmentos cratônicos antigos uma grande variedade de tipos litológicos, com notória perspectiva de aproveitamento para fins ornamentais.

Os terrenos gnáissicos de alto grau em conjunto com os termos charnokíticos, granulíticos e anortosíticos, catalogados em ambiência semelhante nas Províncias São Francisco (amplas porções da Bahia e Minas Gerais), Mantiqueira (Norte de São Paulo) e Borborema (Maciço de Santa Quitéria-Ceará e Maciço Pernambuco-Alagoas), constituem áreas com notória vocação para materiais nobres tipo exportação, formando litotipos exóticos sem equivalentes nos mercados europeus e norte-americanos. Como exemplo de tais jazimentos citamos o Verde Boa Nova e o Dourado, ambos na Bahia, as ocorrências de rochas esverdeadas tipo Verde Candeias e Verde Lavras aflorantes no sul de Minas Gerais, além dos brancos Kashmir e Cacatua Bahia, expostos no estado homônimo e dos tipos Branco Cristal Quartzo, Super Branco, Casa Branca e Branco São Paulo, todos oriundos do Ceará.

Associados aos migmatitos e ortognaisses migmatizados, têm-se os denominados granitos fantasia, que constituem litotipos de estruturas complexamente dobradas, decorrentes de um avançado estágio de deformação tangencial que lhes empresta uma feição designada comercialmente como "movimentada". Dentre as rochas desta família, atualmente lavradas e comercializadas, destacam-se o Granito Mogno Bahia, o Kinawa Bahia e o Macajuba, produzidos em Rui Barbosa, e o Tropical Bahia extraído em Monte Santo, ambos no Estado da Bahia; além dos granitos movimentados de cor rosa tipo Kinawa oriundos de Minas Gerais e dos denominados Rosa Imperial e Relíquia, lavrados em exposições do Complexo Belém do São Francisco em Pernambuco. Também pertencentes a estes cinturões, tem-se os ortognaisses migmatizados comercialmente conhecidos como Red Symphony, Yellow Symphony e Coliseum Gold, explorados no Ceará (figura 1). Inclusos neste período, têm-se os ortognaisses leucocráticos do Espírito Santo, conhecidos no mercado pelos nomes de Granito Amarelo Veneziano, Arabesco e Amarelo Santa Cecília Clássico.

Circunscritos a esta fase de cratonização à qual foi submetida a crosta, notadamente nas áreas de domínio cratônico e dos cinturões móveis de alto grau, têm-se intrusões de sienitos, gabros, piroxenitos, anfíbolitos, anortositos e serpentinitos. Este evento datado do final do Paleoproterozóico, foi responsável pelas formações de rochas com elevado interesse comercial, exemplificados pelos sienitos aflorantes em Riacho Santana e conhecidos pelo nome de Granito Café Bahia.

Ainda relacionados a esta fase, têm-se os granitos verdes oriundos de magmas charnokíticos, aflorantes na região de Jequié- Bahia, sul de Minas Gerais (Província São Francisco), norte de São Paulo (Província Mantiqueira) e em exposições de

fragmentos cratônicos, detectados nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba (Província Borborema). Pertencentes a este período, têm-se o granito Preto Solimões catalogado na Província Amazonas Sul, mas precisamente nos plutônios da Suíte Intrusiva Jamari.

Após a cratonização das faixas móveis paleoproterozóicas iniciou-se, no Mesoproterozóico, um novo ciclo de sedimentação acompanhado em certos casos de vulcanismo. Tal sedimentação, processou-se em áreas periféricas e intracratônicas, cuja evolução resultou nos Cinturões Móveis Meso a Neoproterozóicos e nas faixas de Dobramentos Brasilianas. Tais terrenos acham-se expostos em áreas do Nordeste, Sul e Centro-Oeste do Brasil (Províncias Borborema, São Francisco, Mantiqueira e Tocantins). Vem a se constituir de extensos pacotes de metasedimentos finos a grosseiros com intercalações de vulcânicas máficas e riolitos, contendo variações granulométricas que vão desde o filito ao metaconglomerado. Em termos de aproveitamento ornamental, destacam-se neste contexto os metarenitos de cor rósea da Região de Lençóis e comercializados com o nome de Rosa Bahia; os riolitos, com quartzo azulados de Paramirim, denominados de Azul Paramirim, além dos internacionalmente conhecidos dumortierita-quartzitos, negociados com a denominação de Azul Macaúba ou Azul Imperial. Associados a este período, ocorre os granitos Amazon Star, Marrom Castor, Amazon Flower e Blue Star, pertencentes a suíte intrusiva Serra da Providência na Província Amazonas Norte (Estado de Rondônia).

Relacionados ao Neoproterozóico, mas associados às faixas dobradas, têm-se os granitos Tropical Fashion, Tropical Gaugan, Verde Reis Imperial, Marinace e Verde Marinace, extraídos a partir de metaconglomerados, localizados em exposições nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia. Pertencentes a esta fase, ocorre a formação de ardósias e quartzitos da região de Papagaio em Minas Gerais, que constitui o maior produtor nacional de pedras naturais, seguido dos estados nordestinos.

A culminação dos eventos do Neoproterozóico, na estabilização da infraestrutura cristalino brasileiro, resultou na deposição de sedimentos de ambiência marinha marginal em zonas pericratônicas, originando faixas de dobramentos marginais constituídos por seqüências metassedimentares com denominações litoestratigráficas diversas. Como exemplos de rochas ornamentais, resultante deste contexto geológico, cita-se o mármore rosado designado comercialmente de Rosa Patamutê e Flor de Pêssego, aflorantes respectivamente em Itapebi e Patamutê, todas no Estado da Bahia, além dos mármore brancos do Espírito Santo e dos calcários pretos catalogados em Frecheiras-Ceará, Irecê na Bahia e em áreas de Goiás (Província Tocantins).

Durante o Neoproterozóico, ocorreram intensos processos de granitização ao longo do escudo brasileiro, fato este, que resultou na formação de inúmeras jazidas de rochas ornamentais, representadas pelos granitos cinzas e leucocráticos

do Espírito Santo (Cinza Andorinha, Cinza Ocre, Cinza Corumbá e Branco Marfim). Têm-se ainda os granitos vermelhos tipo Capão Bonito, Bragança Paulista e Colorado Gaúcho, aflorantes na Província Mantiqueira (São Paulo e Rio Grande do Sul), o Red Brasil, oriundo de Goiás (Província Tocantins), além dos Granitos Vermelho Ventura e Ipanema, explorados em Pernambuco, e dos granitos Verde Meruoca, Filomena, Verde Ceará e Rosa Iracema, explorados na Serra da Meruoca, no Estado do Ceará (Província Borborema).

Posicionados neste período ocorrem os “cumulatus” de mela-sienito, aflorantes em Bom Jardim, Pernambuco e conhecidos internacionalmente como Granito Marrom Imperial. Datados do final do Neoproterozóico, tem-se as intrusões gabro-noríticas da Província Borborema (Casserengue-Paraíba), que resultaram no Granito Preto São Marcos, equivalente a outros tipos similares do país como o Preto Tijucas, aflorante na Província Mantiqueira. Desta época datam as inclusões charnokíticas expostas em Ubatuba-São Paulo, que resultaram na formação dos jazimentos do Granito Verde Ubatuba e de tipos similares detectados em outros pontos do território nacional, mas particularmente em exposições intrudidas em terrenos antigos da Província Borborema, em áreas do Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará.

Datados do final do Neoproterozóico, mas precisamente da fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro, afloram nas regiões Nordeste e Sudeste do país boas exposições de rochas de textura grosseira, constituindo corpos de granitos pegmatóides e de pegmatitos homogêneos. Estes litótipos, estão sendo atualmente explorados para fins ornamentais, constituindo tipos de elevada cotação internacional, devido principalmente a grande dimensão dos seus constituintes minerais, aliado ao seu aspecto heterogêneo e multicolorido de excelente padrão estético-decorativo. Como exemplos destes materiais, tem-se o Rosa Florença e o Rosa Algodão, extraídos na Paraíba, além do Branco Fugí, lavrados em pedreiras localizadas no Rio Grande do Norte (Província Borborema).

Associados a esta fase da evolução da nossa plataforma, mas precisamente em zonas de rifteamento, em um ambiente de intraplacas tectônicas e a magmas sub-saturados em sílica, tem-se corpos de sodalita-nefelina sienitos, conhecidos internacionalmente como “Azul Bahia” e catalogados em Itaju de Colônia e Itarantim na Bahia. Datados desta fase, afloram os diques de dacitos azulados, conhecidos como “Azul Sucuru”, oriundos de Serra Branca, Paraíba.

Durante o Fanerozóico, o território brasileiro foi submetido a um regime de extensão crustal, que deu origem a amplas bacias sedimentares intracratônicas, geradas a partir do Ordoviciano. No Juro-Cretáceo, seguiu-se a formação de estreitas bacias tipo rifte, cuja gênese acha-se ligada aos esforços tensionais, que culminaram com a separação das massas continentais africana e sul-americana, com a abertura do Atlântico-Sul.

Essas bacias acumularam espessa seqüência de sedimentos clásticos e carbonáticos, cujas litologias apontam para um baixo aproveitamento para fins ornamentais, com exceção dos calcários da Formação Jandaíra, aflorantes em parte da Bacia do Apodi no Estado do Ceará, onde são explorados os mármore Crema Porto Fino e Bege San Marino.

Posteriormente, depósitos continentais de idade Tercio-Quaternária formaram extensos tabuleiros, além de acumulações aluvionares e eólicas restritas aos vales atuais. Como representante deste período ocorrem os calcários travertinos da Formação Caatinga, originados a partir do retrabalhamento fluvial dos carbonatos existentes na Chapada Diamantina. Esses mármore são conhecidos nacionalmente como Bege Bahia ou Mármore Travertino e constituem uma das mais importantes e tradicionais frentes de exploração de mármore do país.

CONCLUSÕES

A íntima correlação entre os eventos geológicos, atuantes no território brasileiro e a formação dos jazimentos de rochas ornamentais, evidencia, também, a importância do estudo geológico regional na definição dos fatores geológicos, que controlam tais jazimentos e a necessidade de coloca-los em bases técnicas adequadas. Visando a elaboração de mapas previsionais a serem elaborados pelos órgãos governamentais de pesquisa, com o intuito de servir como uma fonte de informação e apoio técnico, para que o setor privado possa planejar e reorientar suas ações na área de prospecção de novos jazimentos de rochas para fins ornamentais.

Verifica-se que a grande potencialidade do território brasileiro em materiais nobres, deve-se sobretudo a presença de fragmentos cratônicos antigos (Figura 1), datados do Arqueano, representados por terrenos granulíticos, charnokíticos, trondjemíticos e gnáissicos-migmatíticos, metamorfisados na fácies anfibolito alto a granulito, responsáveis pela geração de jazimentos de rochas polideformadas de aspecto movimentado, constituindo materiais de rara beleza, e com grande aceitação no mercado internacional. Como dignos representantes desse período, têm-se os tipos brancos extraídos na Bahia e Ceará, os granitos verdes movimentados oriundos dos terrenos granulíticos da Bahia e Minas Gerais, além das rochas migmatíticas de cor róseo-avermelhada, relacionadas aos terrenos paleoproterozóicos circundantes dos núcleos antigos.

A intensidade e amplitude dos eventos tectônicos, atuantes no Neoproterozóico (Orogênese Brasileira), resultaram na geração de inúmeros jazimentos, alguns de elevada cotação de mercado, sobretudo a nível internacional. Dentre os quais, pode-se citar os Granitos Marrom Imperial e Azul Bahia, além dos tipos associados as rochas pegmatóides, como o Rosa Florença e os oriundos de metaconglomerados, extraídos em áreas do Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia.

Com base no exposto, conclui-se que o Brasil encerra um enorme potencial no que tange a jazimentos de rochas ornamentais, incluindo litotipos de rara beleza e grande aceitação mercadológica. O crescimento do setor e o aumento de nossa pauta de exportação passa, entretanto, pela necessidade de ampliarmos as pesquisas a nível regional através das entidades governamentais, visando a descoberta de novas ocorrências, permitindo ao setor privado, subsidiado de informações geológicas consistentes, desenvolver um programa sério e competente de prospecção e lavra de novos jazimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Sistema de Informações Geográficas – SIG. Mapas na escala 1:2500.000. Brasília: CPRM,2001.4 CD Rom

Delgado, Inácio de Medeiros; Pedreira, Augusto José; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS . Síntese da Evolução Geológica e Metalogenética do Brasil. Salvador: CPRM, 1994. 1v.

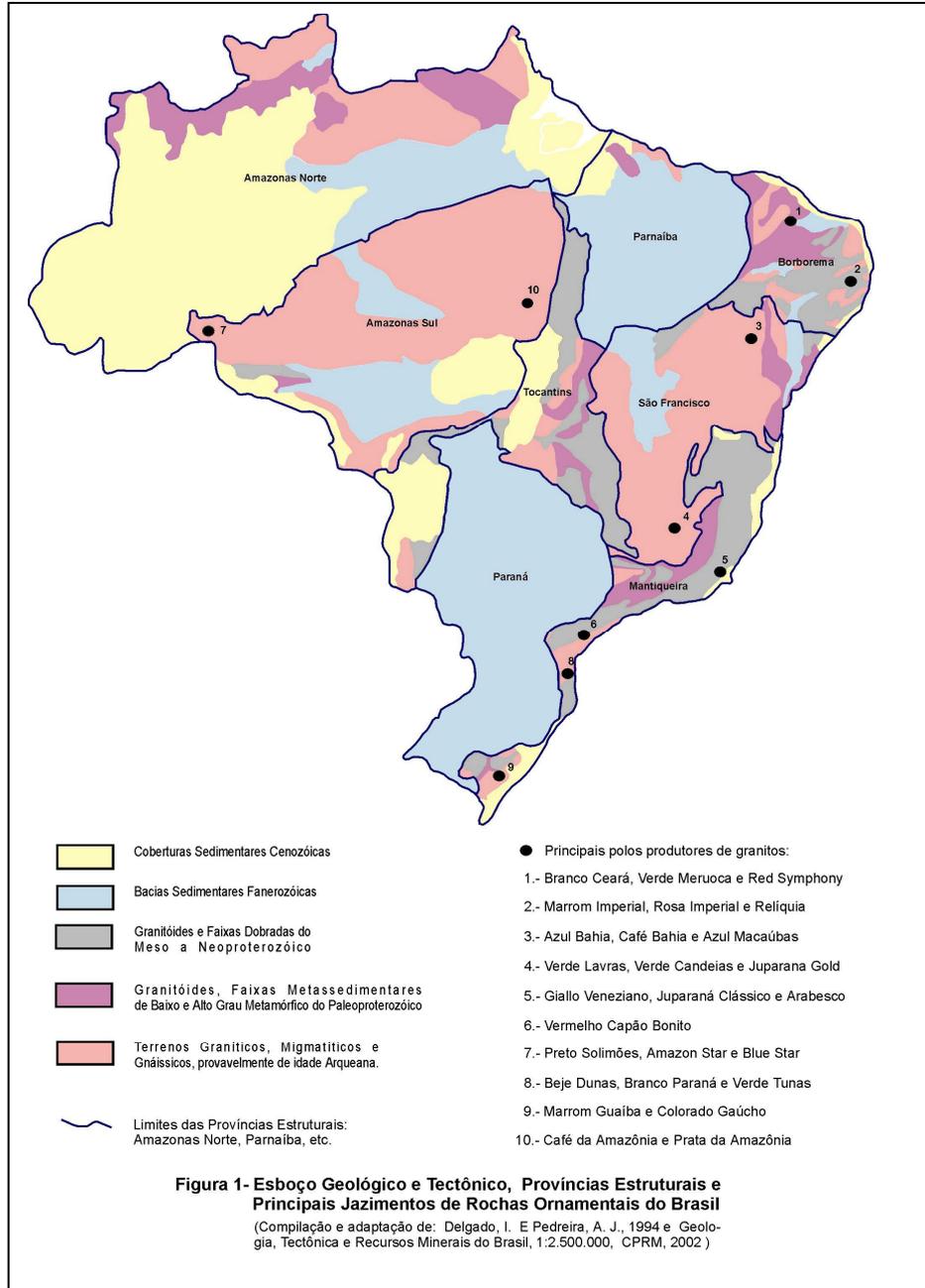


TABELA 1 – Rochas Ornamentais do Brasil – Principais Jazimentos

Classificação Petrográfica	Província Geológica	Idade da Rocha	Nome Comercial	Estado e Município
Leucogranito	São Francisco	Arqueano	Brown Colonial	Iaçu-Bahia
Leucomonzodiorito	São Francisco	Arqueano	Snow Flocks	Iaçu-Bahia
Monzodiorito	São Francisco	Arqueano	Green Gabriela	Iaçu-Bahia
Charnokito Verde	São Francisco	Paleoproterozóico	Verde Boa Nova	Boa Nova-Bahia
Charnokito Verde	São Francisco	Paleoproterozóico	Verde Candeias	Candeias- MG.
Charnokito Verde	São Francisco	paleoproterozóico	Verde Candeias	Candeias- MG.
Leucogranito Gnaissificado	São Francisco	Paleoproterozóico	Branco Kashmir	Jequié-Bahia
Leucogranito	São Francisco	Paleoproterozóico	Cacatua Bahia	Angüera-BA.
Trondjemito	Borborema	Paleoproterozóico	branco Cristal Quartzo	Forquilha-Ceará
Trondjemito	Borborema	Paleoproterozóico	Super Branco	Forquilha-Ceará
Trondjemito	Borborema	Paleoproterozóico	Casa Branca	Pedra Branca-Ceará
Trondjemito	Borborema	Paleoproterozóico	Cotto	Santa Quitéria- Ceará
Ortognaisse Migmatizado	São Francisco	Paleoproterozóico	Mogno Bahia	Rui Barbosa-Bahia
Ortognaisse Migmatizado	São Francisco	Paleoproterozóico	Kinawa Bahia	Rui Barbosa-Bahia
Ortognaisse a Biotita	São Francisco	Paleoproterozóico	Macajuba	Rui Barbosa-Bahia
Ortognaisse Migmatizado	São Francisco	Paleoproterozóico	Tropical Bahia	Monte Santo-Bahia
Ortognaisse Granítico Mig.	Borborema	Mesoproterozóico	Rosa Imperial	Garanhuns-PE.
Ortognaisse Granítico Mig.	Borborema	Mesoproterozóico	Vermelho Reliquia	Pesqueira-PE.
Ortognaisse Granítico Mig.	Borborema	Mesoproterozóico	Red Sinphony	Sobral-Ceará
Biotita Granito	Borborema	Mesoproterozóico	Yellow Sinphony	Sobral-Ceará
Ortognaisse Granítico Mig.	Borborema	Mesoproterozóico	Coliseum Gold	Caridade-Ceará
Ortognaisse Granítico	Mantiqueira	Mesoproterozóico	Amarelo Veneziano	Nova Venécia-ES.
Ortognaisse Granítico	Mantiqueira	Mesoproterozóico	Arabesco	Águia Branca-ES.
Ortognaisse Granítico	Mantiqueira	Mesoproterozóico	Amarelo Sta. Cecília Clás.	Ecoporanga-ES.
Mela-Sienito	São Francisco	Paleoproterozóico	Café Bahia	Riacho Santana-BA.
Dioritos-Suíte Jamari	Amazonas Sul	Paleoproterozóico	Preto Solimões	Jamari-RO.
Riolito Pórfiro	São Francisco	Mesoproterozóico	Azul Parnamirim	Paramirim-BA.
Dumortierita-Quartzito	São Francisco	Mesoproterozóico	Azul Imperial	Macaubas-BA.
Metaconglomerado	Borborema	Neoproterozóico	Tropical Fashion	Parelhas-RN.
Metaconglomerado	Borborema	Neoproterozóico	Tropical Gaugan	Parelhas-RN.
Metaconglomerado Polimítico	Borborema	Neoproterozóico	Verde Reis Imperial	Santa Luzia-PB.
Metaconglomerado Polimítico	São Francisco	Neoproterozóico	Marinace	Ibotirama-Ba.
Metaconglomerado Polimítico	São Francisco	Neoproterozóico	Verde Marinace	Ibotirama-Ba.
Calcario Cristalino	São Francisco	Neoproterozóico	Imperial Pink	Itapebi-BA.
Calcario Cristalino Rosa	São Francisco	Neoproterozóico	Rosa Patamuté	Curacá-Bahia
Arenito Quartzoso	São Francisco	Neoproterozóico	Rosa Bahia	Palmeiras- BA.
Biotita Granito	Mantiqueira	Neoproterozóico	Cinza Andorinha	Castelo-ES.
Biotita Granito Pórfiro	Mantiqueira	Neoproterozóico	Cinza Corumbá	Castelo-ES.
Leucogranito Equigranular	Mantiqueira	Neoproterozóico	Branco Marfim	Itaperuna-ES.
Monzogranito Porfirítico	Mantiqueira	Neoproterozóico	Vermelho Bragança	Bragança Paulista-SP
Biotita Monzogranito	Mantiqueira	Neoproterozóico	Vermelho Capão Bonito	Capão Bonito-SP.
Granito Vermelho Porfirítico	Mantiqueira	Neoproterozóico	Colorado Gaucho	
Granito Vermelho Porfirítico	Borborema	Neoproterozóico	Vermelho Ventura	Venturosa-PE.
Granito Vermelho Equigranular	Borborema	Neoproterozóico	Vermelho Ipanema	Pedra-PE.
Granito Grosseiro	Borborema	Neoproterozóico	Verde Meruoca	Alcântaras-CE.
Biotita Granito Vermelho	Borborema	Neoproterozóico	Vermelho Filomena	Alcântaras-CE.
Biotita Granito	Borborema	Neoproterozóico	Verde Ceará	Meruoca-CE.
Mela-sienito	Borborema	Neoproterozóico	Marrom Imperial	Bom Jardim-PE.
Quartzo-sienito	Borborema	Neoproterozóico	Liláz Imperial	Bom Jardim PE.
Gabro-norito	Borborema	Neoproterozóico	Preto São Marcos	Casserengue-PB.
Charnokito Verde	Mantiqueira	Neoproterozóico	verde Ubatuba	Ubatuba-SP.
Pegmatito	Borborema	Neoproterozóico	Rosa Algodão	Algodão de Jandaíra-PB.
Pegmatito	Borborema	Neoproterozóico	Rosa Florença	São Jose do Sabugi-PB.
Pegmatito	Borborema	Neoproterozóico	Branco Fugi	Parelhas-RN.
Nefelina-Sodalita-Sienito	São Francisco	Neoproterozóico	Azul Bahia	Itaju de Colônia
Dacito Pórfiro	Borborema	Neoproterozóico	Azul Sucuru	Serra Branca-PB.
Calcario Sedimentar	Borborema	Cretaceo Inferior	Crema Porto Fino	Quixeré-CE.
Calcario Sedimentar Biocristico	Borborema	Cretaceo Inferior	Bege San Marino	Limoeiro do Norte-CE.
Calcario Brechado	São Francisco	Quaternário	Bege Travertino	Ourolándia-BA.

CONDICIONAMENTO GEOLÓGICO DAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS DAS FOLHAS GARANHUNS E BELÉM DO SÃO FRANCISCO, ESCALA 1:250.000

Vanildo Almeida Mendes¹, Ivo Pessato Paiva¹, Adejardo Francisco da Silva Filho², José Carlos Sicoli Seoane², Edilton José dos Santos², Ignez de Pinho Guimarães², Danielle Valderez Siqueira² e Ely Brasil²

¹Geólogos CPRM/SUREG-RE - Av. Sul 2291, Afogados – 50.770-011 – Recife – PE

E-mail: geremipe@fisepe.pe.gov.br

²UFPE – Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901 – Recife – PE

E-mail: cainho@rootsrock.com.br

RESUMO

No texto em tela, têm-se as apreciações dos granitos ornamentais cadastrados nas folhas Belém do São Francisco e Garanhuns, ressaltando-se o condicionamento litológico e estrutural dos tipos catalogados, além da continuidade regional dos corpos graníticos detectados. Foi discutida a adoção do conceito de Atratividade Econômico-geológica utilizado, o qual resulta em uma pontuação dos tipos rochosos, através da soma de notas atribuídas a um conjunto de fatores intervenientes na avaliação das ocorrências. Esta metodologia de trabalho propiciou a elaboração de mapas previsionais, com a definição de zonas prospectáveis, a nível regional, para materiais nobres, passíveis de negociação no exterior sob a forma de blocos e os denominados granitos comuns, utilizáveis no mercado interno, na condição de produtos beneficiados. Em suma, ressalta a necessidade da continuidade dos trabalhos de pesquisa, com o intuito de gerar informações precisas, georreferenciadas e confiáveis, capazes de levar a determinação de novas jazidas.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que fatores de cunho geológico interferem diretamente na existência de faixas potenciais, na forma e distribuição das rochas e na vocação dos terrenos para presença: de materiais nobres ou comuns. Em termos exploratórios regionais, a definição do arcabouço tectônico-estrutural e dos ambientes geológicos. São fatores preponderantes para pesquisa, permitindo elaborar mapas previsionais e de ocorrências para os diversos tipos de rochas.

Nesse enfoque, o Serviço Geológico do Brasil-CPRM, através da Superintendência Regional de Recife, decidiu elaborar cartas designadas de Atratividade Econômico-Geológica para regiões de reconhecido potencial em rochas ornamentais, com base nos trabalhos concluídos pelo Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. A partir destas considerações escolheu-se a folha Belém do São Francisco para início desses estudos. Essa proposta despertou interesse do Departamento de Geologia da UFPE, sendo então firmado um convênio de parceria com a CPRM, e em comum acordo optou-se pela folha Garanhuns para dar continuidade aos estudos.

A metodologia adotada envolveu análise da geologia regional, interpretação de fotografias aéreas na escala 1:70.000, levantamento de campo das

ocorrências e montagem dos mapas das folhas acima referenciadas na escala 1:250.000, onde se obteve um condicionamento geológico que permitiu definir zonas prospectáveis a nível regional para materiais nobres, passíveis de exportação sob a forma de blocos, bem como para os tipos denominados comuns, de comércio já consolidado no mercado interno sob a forma de produto beneficiado.

CONCEITO DE ÍNDICE DE ATRATIVIDADE ECONÔMICO-GEOLÓGICA

O Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG), consiste na hierarquização dos tipos graníticos, selecionados em mapa, através de notas atribuídas a um conjunto de fatores intervenientes na avaliação destes jazimentos. Este índice baseia-se na soma dos pesos atribuídos aos seguintes fatores: cor da rocha (FC), textura (FT), homogeneidade (FH), estrutura (FE), modo de ocorrência (FM), fator dureza (FD), fator nobreza (FN), e o fator infra-estrutura (FI). Desta forma e de maneira crescente, quanto maior o valor do IAEG, mais atraente será a rocha para o mercado. No quadro abaixo especificam-se as pontuações atribuídas para cada fator mencionado, visando à avaliação da rocha. Na Tabela 1 têm-se os valores numéricos atribuídos a cada um destes fatores.

CONTROLE LITOESTRATIGRÁFICO DOS JAZIMENTOS

Neste trabalho procurou-se definir a relação entre as unidades geológicas mapeáveis nas folhas supracitadas e os jazimentos plotados. Como resultado, pode-se estabelecer os controles e a continuidade geológica dos mesmos, facilitando a pesquisa de tipos similares aos catalogados. Com o objetivo de direcionar os futuros trabalhos de pesquisa de detalhe, foi colocada em mapas, com contornos tracejados, a faixa de afloramento dos diferentes tipos litológicos cartografados (Figuras 1 e 2). Tal assertiva visa propiciar ao empresariado local, informações que permitam a elaboração de um programa de pesquisa e dirigi-lo em função dos tipos petrográficos que se pretenda encontrar (MENDES e PAIVA, 2002).

Para exemplificar melhor o conceito, foi escolhido o Granito Rosa Imperial, cujo arcabouço geológico é formado por migmatitos homogêneos, com neossoma de cor rosa-suave estando relacionado com xenólitos de rocha máfica de composição anfibolítica, os quais ocorrem como melanossoma destes litotipos. Com base nestes dados pode-se programar a pesquisa de rochas semelhantes, tendo como área-alvo os migmatitos de

neossoma rosa-avermelhados do Complexo Belém do São Francisco, aflorantes em áreas dos municípios de Iati, Pedra, Pesqueira, Caetés e Garanhuns, todos registrados no Mapa de Atratividade Econômico-Geológica da Folha Garanhuns (Figura 1). Esta afirmação estende-se a todos os tipos cadastrados, pois sua localização e disposição geológica acha-se condicionada pelas unidades litoestratigráficas detectadas nos terrenos ora estudados. Em consequência, o conhecimento do arcabouço geológico regional, com o apoio de trabalhos de interpretação aerofotogeológica, tratamento de imagens e de dados aerogeofísicos, certamente propiciará nestes sítios, a descoberta de novas ocorrências de rochas para fins ornamentais.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA REGIÃO

A área pesquisada abrange uma superfície de 36.000 km², inserida em sua totalidade na Província Borborema, cuja evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica, com alternância de regimes compressivos e distensivos. Sua consolidação e a consequente formação de jazimentos de rochas ornamentais ocorreram de maneira progressiva e cíclica, em pelo menos 03 (três) eventos tectomagmáticos distintos, relacionados ao Arqueano-Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico (MEDEIROS, 1998).

O Paleoproterozóico acha-se representado pelos complexos Floresta e Pão de Açúcar, com o primeiro constituído por ortognaisses quartzodioríticos, tonalíticos e granodioríticos, contendo ainda granulitos, migmatitos, metabásicas e ultrabásicas. A unidade denominada Pão de Açúcar, congrega uma associação de ortognaisses graníticos a tonalíticos, com migmatitos ortoderivados, com protólitos de composição diorítica (SANTOS, 1995).

O Mesoproterozóico engloba uma seqüência de faixas metassedimentares, correspondendo aos complexos São Caetano, Lagoa das Contendas, Sertânia, Vertentes, Cabrobo e Complexo Belém do São Francisco, o qual notabiliza-se por encerrar vários jazimentos de rochas ornamentais em exploração.

Ainda associados a este evento, têm-se ortognaisses leucocráticos a biotita, aflorantes a oeste de Sertânia (My2r), de composição variando de granítica a tonalítica, com fácies trondjhmiticos, pertencentes a Suíte Calcicalina a Trondjhmitica. Cumpre destacar ainda os metaplutonitos da Suíte Malhada Vermelha, contendo metagabros, metanortositos e metadioritos. Apesar de não portarem até o momento, jazimentos de rochas ornamentais, estas suítes apresentam, em função do seu contexto litológico, interesse prospectivo, pois são passíveis de conter granitos nobres tipo Branco Cristal (Suíte Trondjhmitica) e Preto Verdadeiro (Suíte Malhada Vermelha).

Por último, posicionados no Mesoproterozóico, ocorrem os ortognaisses e migmatitos de natureza indiscriminada (Myi),

apresentando fácies cinza-claro de composição tonalítica, em alternância com porções de neossoma róseo-avermelhado, ricas em feldspato potássico. Associados a esta unidade, têm-se os jazimentos do granito Frevo, catalogados em Lagoa da Cidade, Muro Alto e Tio Jaú, todos no município de Sertânia.

O Neoproterozóico da Borborema foi afetado por intensos e extensos processos de intrusão de magmas graníticos, que resultaram na colocação de inúmeros corpos de composição variada, compondo um quadro geológico de boa favorabilidade para a ocorrência de jazidas de rochas ornamentais, tanto dos tipos comuns, quanto dos materiais mais nobres, passíveis de negociação no mercado internacional de blocos.

Dentre as unidades neoproterozóicas prospectáveis, merecem destaque os plutonitos da Suíte Leucocrática Peraluminosa (Ny4sm), formada por leucogranitos a duas micas, com fácies a granada ou cordierita, além dos litótipos da Suíte Potássica-Calcicalina Metaluminosa (Ny2k). A unidade mais prospectiva do Neoproterozóico, é representada pelos quartzos sienitos (Suíte Shoshonítica), com enclaves máficos, que abrigam "cumulatus" de mela-sienito porfirítico grosseiro de cor marrom escura, conhecidos no mercado como granito Marrom Imperial.

Ainda no Neoproterozóico têm-se os Metagranitóides Indiscriminados (Ny1), e a Suíte Peraluminosa Leucocrática (Ny3p), constituída por alcalifeldspato granito e sienito, incluindo quartzomonzonito portando biotita, hornblenda e piroxênio.

CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS SOBRE OS JAZIMENTOS DE GRANITOS PARA FINS ORNAMENTAIS

Os jazimentos de rochas ornamentais cadastrados nas folhas Belém do São Francisco e Garanhuns, constituem excelentes exposições, nas quais foram avaliados a cor, textura, aspecto estético, padrão estrutural, homogeneidade faciológica, além da densidade de xenólitos, fraturamento, veios e pontos de oxidação.

Os elementos geológicos observados **in situ**, como a freqüência e o espaçamento das fraturas, aliados ao aspecto macroscópico da rocha, são extrapolados para todo o corpo rochoso. Apesar dos corpos apresentarem variações faciológicas, influenciando na macroscopia e composição, espera-se que as características dominantes do corpo, observadas no ponto estudado, tenham uniformidade e propicie a formação de reservas explotáveis.

Este trabalho pretende fornecer elementos para uma melhor compreensão sobre o posicionamento geológico dos jazimentos desta região, considerada de elevado potencial por concentrar grande parte da produção de rochas ornamentais do estado de Pernambuco. Espera-se que um entendimento mais preciso do condicionantes geológicos regionais possa facilitar a descoberta de

novas jazidas de rochas ornamentais, tomando-se os jazimentos conhecidos como ponto de partida para a prospecção.

Os 85 depósitos estudados, dos quais cerca de 23 são constituídos por materiais nobres passíveis de negociação no mercado externo, foram plotados em cartas de fundo geológico simplificado, constituindo os mapas de Atratividade Econômico-Geológica concernentes a cada uma das folhas acima referenciadas. Esta sistemática permitiu definir zonas potenciais que devem servir de norte científico para orientar a prospecção voltada para rochas ornamentais na Província Borborema, significando, portanto, importante contribuição do Serviço Geológico do Brasil, para o desenvolvimento do setor mineral da região. Com base nos elementos geológicos disponíveis, foram detectados, na região compreendida pelas folhas em questão, os seguintes tipos de granitos para fins ornamentais:

Granito Marrom Imperial- este litótipo aflorante nas cidades de Bom Jardim e Toritama, ambas no estado de Pernambuco, possuem reconhecida aceitação no mercado internacional. Dispõe-se sob a forma de lentes de mela-sienitos, pertencentes à Seqüência Shoshonítica Peralcalina de idade neoproterozóica. As encaixantes deste litótipo (quartzo-sienitos) também se prestam ao setor de rochas ornamentais, constituindo um material comum, comercializado no mercado interno de chapas e padronizados com o nome de Lilás Imperial. Associados a esta seqüência, têm-se os granitos de cor rosa, catalogados na folha Belém do São Francisco (tabela 2), os quais afloram no corpo plutônico conhecido como Batolito Pajeú e inclui os tipos Rosa Salmão, Rosa Azulado e Rosa Goiaba.

Granitos Samba, Rosa Imperial e Relíquia- representam expressões de migmatitos e ortognaisses migmatizados do Complexo Belém do São Francisco, de idade mesoproterozóica. São ligados a migmatitos homogêneos, com neossoma de cor rosa- suave a avermelhada, ricos em feldspato potássico, associados a zonas de cisalhamento dúctil e a corpos máficos pré-existentes, de composição anfibolítica. Resultam de um processo de fusão parcial do material básico, com o conseqüente enriquecimento em potássio. Constituem tipos nobres, indicados para o mercado internacional de blocos. Este complexo estende-se para a folha Belém do São Francisco (Figura 2), onde foi mapeada a sua fácies de neossoma de cor cinza-clara, devido ao maior teor em feldspato calcissódico. Em conseqüência, é possível encontrar, neste setor, jazimentos de granitos movimentados de cores cinza-clara a bege, incluindo certos tons de materiais rosa à semelhança dos litótipos acima referidos.

Granitos Vermelho Ventura e Ipanema- associam-se a biotita-anfibolito granitóide grosseiro, de textura porfírica e cor vermelha (Granito Vermelho Ventura), incluindo sua fácies equigranular média e coloração rosa-avermelhada (granito Vermelho Ipanema). Localizam-se, respectivamente, nos municípios de Venturosa e Pedra, e pertencem à Suíte Potássica- Calcicalalina. Relacionam-se à fase tardi-tectônica do evento plutônico Neoproterozóico,

sendo inclusos nos gnaisses e migmatitos de idade mesoproterozóica. Associados a esta seqüência, têm-se fácies grossas,, porfíricas, de cores cinza-rosa a cinza-claro, constituindo os tipos Rosa Tropical, Rosa Nogueira e Cinza-Rosa (Tabela 3). Ainda inclusos nesta unidade, foram detectados os granitos Salmão Acinzentado, Rosa Acinzentado e Rosa Amarronzado, que compreendem termos porfíricos orientados a homogêneos, com textura equigranular e granulação fina a média, aflorantes nos batolitos da Serra da Quixaba, Conceição das Crioulas e do Sítio Feijão, todos localizados na folha Belém do São Francisco (Tabela 2).

Granitos tipo Cinza Prata e Ouro Branco- São pertencentes à Seqüência Peraluminosa Leucocrática, formada por leucogranitóides e metagranitóides de coloração cinza-claro, a duas micas. Possivelmente, tratam-se de granitóides tipo "S", de idade meso/neoproterozóica, associados ao retrabalhamento e fusão parcial de supracrustais e acham-se intrudidos em metapelitos granatíferos, bastante migmatizados. Na área em estudo foram catalogados jazimentos deste litótipo nos municípios de Capoeiras, Garanhuns e Canhotinho. Tais rochas são do tipo comum, indicadas para o mercado doméstico de chapas e padronizadas.

Granito Preto Pernambuco- Trata-se de quartzo-dioritos escuros de granulação fina, aflorantes em Painéis e pertencentes à Suíte Potássica Calcicalalina.

Os granitos Frevo e Cinza de Jaramantaia, são expressões de ortognaisses migmatizados de composição variando de granítica a granodiorítica, sendo o primeiro de neossoma rosa-avermelhado rico em feldspato potássico, expostos em áreas do município de Sertânia, na Folha Garanhuns. O segundo, situa-se no limite leste da Folha Belém do São Francisco, constituindo ortognaisse migmatizado de cor cinza-claro a bege. Ambos estão posicionados no Mesoproterozóico e insere-se na unidade formada por ortognaisses e migmatitos indiferenciados (m_γ1).

Relacionados aos biotita leucogranitos da Suíte Peraluminosa Leucocrática (N_γ3I), tem-se o granito equigranular grosseiro de coloração rosa-avermelhado, aflorante em Sítio dos Nunes. Este litótipo assemelha-se na textura, cor e aspecto estético-decorativo ao Granito Colorado Gaúcho, também de idade Neoproterozóica.

Os granitos cinza-creme, expostos no batolito Serrote do Anil, mais precisamente nos Sítios Teiú e Estação Poldrin-Pelado, pertencem aos metagranitóides indiscriminados (N_γI) do Neoproterozóico, localmente formados por biotita-hornblenda quartzomonzonito de cor cinza-creme e textura equigranular grossa, constituindo uma rocha de excelente aspecto estético-de corativo.

As ocorrências localizadas em Ponta da Serrinha e na Serra do Man, ambas na Folha Belém do São Francisco, relacionam-se a Suíte Ultrapotássica Peralcalina (N_γ3p), mais precisamente aos corpos de álcali-feldspato granitos, com variações

para sienito e quartzomonzonito. Tais rochas apresentam coloração rosa-amarronzada, com fácies branco-acinzentado e textura equigranular, mostrando-se, em alguns locais, com discreta orientação (Serra do Man).

O ortognaisse rosa-avermelhado, aflorante no Sítio Serrote do Pau, pertence à Suíte Peraluminosa (Ny3s), formada por metamonzonitos, com porções sienograníticas migmatizadas. Constitui um ortognaisse granítico a biotita, de textura granular xenomórfica, com coloração rósea predominante, contendo manchas e pontos pretos, distribuídos erráticamente, compondo um agregado granular grosso, homogêneo, de excelente aspecto visual (PAIVA, 2000).

Ainda dentro do contexto da área estudada e adjacências, são passíveis de serem detectados os seguintes tipos de rochas ornamentais: Granito tipo Branco Cristal (rochas associadas à Suíte Calcicalcina e Trondhjemítica, aflorantes ao sul de Sertânia) e o Granito tipo Verde Ubatuba. Este litótipo relaciona-se às rochas charnokíticas, detectadas na Fazenda Normandia, em Caruaru, e também, próximas a Santa Cruz do Capibaribe.

ASPECTOS GEOECONÔMICOS

Dos jazimentos visitados, 05 (cinco) constituem minas ativas, produtoras de blocos canteirados, de onde provém as rochas para exportação. Além destas, têm-se 14 (quatorze) minas paralisadas, algumas delas, devido a problemas técnicos de fraturamentos, causados por excesso de explosivos durante a fase de exploração, na lavra experimental. Elas atestam a falta de assistência técnica, associada ao imediatismo do produtor. Outras, entretanto, operam em regime de lavra sazonal, em função das oscilações de mercado. Das minas ativas, salienta-se a do Granito Relíquia, explorada pela COTTO S/A e a do Granito Rosa Imperial, operada pela FERREIRA COSTA MINERAÇÕES LTDA. Tais rochas constituem materiais nobres de reconhecida aceitação no mercado internacional de blocos, com preços superiores a US\$ 500,00/m³/ FOB.

Os Granitos Ipanema e Vermelho Ventura constituem materiais comuns. São produzidos, respectivamente, pela Norgran e Granordeste e negociados no mercado interno, na forma de chapas e padronizados. Eventualmente, são exportados, na condição de blocos canteirados, para a França e Portugal. Afora as minas em produção e as paralisadas, várias ocorrências acham-se dentro de áreas requeridas para pesquisas ao DNPM, prevendo-se a médio prazo, a produção de rochas em novos jazimentos.

Além das ocorrências, ora consideradas, este trabalho tem, como intenção, complementar e fornecer dados geológicos que permitam superar a carência de informações regionais, geralmente existentes nos cadastramentos anteriores para rochas ornamentais. Também visa realçar a abrangência geológica de cada jazimento visitado, os quais são pontuais e posicionados quase sempre, em corpos

granitóides de grandes dimensões. No caso de vários jazimentos contidos em um mesmo corpo, procurou-se agrupá-los e mostrar, através das fotografias, as diferenças faciológicas que apresentam.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo exposto, verifica-se a importância do estudo geológico regional na descoberta de jazimentos de rochas ornamentais, haja vista a continuidade, entre as folhas acima referenciadas das unidades geológicas mapeadas e portadoras de materiais com interesse para a indústria de cantaria. Dentre os litótipos analisados destacam-se os melasienitos da Suíte Shoshonítica, e os ortognaises migmatizados do Complexo Belém do São Francisco portadores, respectivamente, dos granitos Marrom Imperial e Relíquia, ambos considerados granitos nobres de elevada cotação no mercado internacional de blocos. Com base nos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de dar continuidade a estes estudos em outras áreas do nordeste brasileiro, com intuito de levantar a ambiência geológica existente, visando propiciar suporte técnico em futuros trabalhos de prospecção. a serem feitos pela iniciativa privada.

A integração de estudos de cunho regional, associado às técnicas de geoprocessamento, interpretação e tratamento de imagens, apoiadas pela análise dos dados aereogeofísicos permitem a geração de bases previsionais de alto nível técnico-científico, capazes de produzir informações precisas e confiáveis sobre os possíveis jazimentos a serem detectados.

Em síntese, verifica-se que a prospecção geológica regional constitui um suporte indispensável à pesquisa de novos jazimentos, sendo necessário que as entidades governamentais de pesquisa, notadamente o Serviço Geológico do Brasil-CPRM em consonância com a iniciativa privada, desenvolvam trabalhos neste sentido, como forma de apoiar e incrementar o setor, que hoje constitui o terceiro item de superávit mineral, em nossa balança comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, A. J.; PAIVA, I. P. Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e infra-estrutura, para uso em mapa de atratividade econômico-Geológica de rochas para fins ornamentais. Recife; CPRM, 1998 (Inédito).
- MEDEIROS, Vladimir C. de – Folha Garanhuns (SC.24-X-B) – Integração Geológica- Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil- CPRM-Recife, 1998.
- SANTOS, E. J. dos. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Floresta (sc.24-x-a): Província Borborema, Nordeste do Brasil. Integração geológica e metalogenética, escala: 1:250.000. Recife, CPRM,1995.
- PAIVA, I. P.- Rochas Ornamentais de Pernambuco-Folha Belém do São Francisco Esc. 1.250.000-CPRM-Recife, 2000(Inédito).

MENDES, V. A. ; PAIVA, I. P.- Rochas Ornamentais de Pernambuco – Folha Garanhuns Esc. 1.250.000-CPRM- Recife, 2002 (No prelo).

TABELA 1 – Índices de Atratividade Econômico-Geológico

Fator Cor- FC	
Cores Predominantes	Valores do FC
Azul	17
Branca a Amarela	14
Verde ou Marrom	14
Rochas Movimentadas de Cores Vermelha e Rosa	10
Salmão	7
Vermelha	6
rosa	6
Fator Textura-Ft	
texturas Predominantes	Valores do FT
Equigranular e Porfírica	0 a 10
Porfírica Serial a Equigranular e Lamelar	
Fator Homogeneidade	
Densidade na Presença de Veios, Xenólitos e Oxidações (alterações)	Valores do FH
Alta	0 a 10
Média	
Baixa	
Fator Fraturamento - FF	
Densidade do Fraturamento	Valores do FF
Densidade Baixa(extração de blocos p/teares)	10
Densidade média(extração de blocos p/talha bloco)	8
Densidade alta	5
Muito Alta	4
Altíssima	0
Fator modo de Ocorrência-FM	
Modo de Ocorrência	Valores do FM
Maciço + Matacões	10
Maciço	6 a 8
Matacões Grandes	5
Matacões Menores	4
Fator Estrutura-FE	
Estruturas Predominantes	Valores de FE
Dobradas ou Movimentadas	10
orientada ou foleada	5
Maciça	0
fator de Nobreza-FN	
Posicionamento da Rocha no Mercado	Valores de do FN
Mercado externo, sob a forma de blocos, chapas e padronizados	20
Mercado externo, sob a forma de blocos	18
Mercado interno, por vezes externo, sob a forma de blocos ,chapas e padronizados	14 a 15
mercado interno na forma de chapas e padronizados	10 a 12
Mercado interno de padronizados	0 a 5
Fator Dureza-FD	
Dureza Relativa	valores do FD
Mármore(dureza baixa)	7
Sienitóide(dureza média)	6
Granitóide(dureza alta)	5
Quartzito (dureza muito alta)	2
Fator Intra-estrutura-Fi	
Infra-estrutura Disponível	Valores do Fi
(água, luz, telecomunicações,vias de acesso e mão de obra)	
Distância menor que 10km e dispondo de toda infra-estrutura	8
Distância igual ou maior do que 10km	6
Distância maior do que 20 km	5
IAEG= FC+ FT+FH+FM+FR+FN+FD+FI	

As rochas representadas em mapas são avaliadas qualitativa e quantitativamente segundo os seguintes intervalos do Índice de Atratividade Econômico-Geológica(IAEG)

IAEG Muito Alto entre 80 a 100
 IAEG Alto entre 70 a 80
 IAEG Médio entre 60 a 70
 IAEG Baixo entre 40 a 60

TABELA 2 – Ocorrências de Granitos Ornamentais da Folha Belém do São Francisco

Nº	IAEG	Nome da Ocorrência	Município	Tipo de Rocha	Cor da Rocha	Textura / Estrutura	Unidade Geológica
01	78	Sítio dos Nunes	Flores	Granito	Rosa-Avermelhada	Equigranular Grosseira Homogênea	Suíte Peraluminosa Leucocrática (NY3l)
02	60a	Serra da Travessa	Serra Talhada	Granodiorito cataclástico	Rosa	Equigranular Fina a média orientada	Mela-Sienitos da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
03	60a	Serra do Bravo	Serra Talhada	Granodiorito cataclástico	Rosa	Equigranular fina média orientada	Mela-sienito da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
04	74	Vila Pajeú	Serra Talhada	Hornblenda-Granito	Salmão	Porfírica Grosseira Orientada	Mela-Sienitos da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
05	74	Serra do Galo	Serra Talhada	Hornblenda-Granito	Rosa-Azulada	Porfírica Grosseira Orientada	Mela-Sienitos da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
06	74	Açude Serrinha	Serra Talhada	Biotita-Quartzo-sienítico Milonítico	Salmão	Porfírica Orientada	Mela-Sienitos da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
07	74	Serrote do Tapuí	Serra Talhada	Quartzo monzonito milonítico	Rosa-Acinzentada	Porfírica Orientada	Mela-Sienitos da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
08	64	Serrote do Pau	Mirandiba	Biotita Granito Gnáissico	Rosa-Avermelhado	Equigranular Grosseira orientada	Ortognaisse vermelho da Suíte Peraluminosa (MY3s)
09	62	Serra do Man	Floresta	Granito Porfiroclástico c/aegirina-augita	Rosa-Amarronzada	Equigranular Grosseira Orientada	Suíte ultrapotássica Peralcalina (ny3p)
10	59a	Serra do Arapuá	Floresta	Granito Leucocrático	Rosa-Goiaba	Porfírica média Orientada	Mela-sienito da Sequência Shoshonítica (NY3sh)
11	72	Sítio Feijão	Floresta	Granodiorítico Porfírico Cataclástico	Cinza-Escura	Porfírica Grosseira Orientada	Suíte Potássica Calcicalcina (NY2k)
12	83	Estação Poldrin-Serrote Pelado	Serra Talhada	Biotita Monzogranito	Cinza Creme	Equigranular Grosseira	Metagranitóides indiscriminados (Nyi)
13	83	Teiú	Serra Talhada	Biotita-hornblenda-quartzo Monzonito	Cinza Creme	Equigranular grosseira	Metagranitóides indiscriminados (Nyi)
14	72	Sítio da Paula	Salgueiro	Biotita Monzogranito Milonítico	Salmão Acinzentada	Porfírica Orientada	Suíte Porássica Calcicalcina (NY2k)
15	72	Fazenda Velha	Salgueiro	Biotita Granodiorito Protomilonito	Cinza	Porfírica homogênea	Suíte Potássica Calcicalcina (NY2k)
16	59b	Serrote Mandacaru	Betânia	Biotita Monzogranito	Rosa-Acinzentada	Porfírica Homogênea	Suíte Potássica Calcicalcina (NY2k)
17	59b	Lagoa Grande	Betânia	Granito (microgranito)	Rosa-Amarronzado	Equigranular Fina a Média Homogênea	Suíte Potássica Calcicalcina (NY2k)
18	60b	Ponta da Serrinha	Betânia	Quartzo Monzodiorito Orientado	Branco Acinzentada	Equigranular	Suíte ultrapotássica Peralcalina (ny3p)
19	46b	Migmatito Ornamental	Custódia	Hornblenda Biotita gnáissico	Cinza	Equigranular Movimentada	Ortognaises e migmatitos

III SRONE – 2002 – Recife-PE/Brasil - *Vanildo Almeida Mendes, Ivo Pessato Paiva, Adejardo Francisco da Silva Filho, José Carlos Sicoli Seoane, Edilton José dos Santos, Ignez de Pinho Guimarães, Danielle Valderez Siqueira e Ely Brasil*

TABELA 3 – Resumo dos Jazimentos de Rochas para Fins Ornamentais da Folha Garanhuns (Parte 1/4)

N.º do Jazimento	Nº das Fotos	Nº do Afloram.	Local do Jazimento	Município	Coord. (UTM)	Status	Denominação Comercial	Cor da rocha	Textura/Estrutura	Tipo Litológico	Empresa	Doc meta	Ref. Bibliog.
1	1	IP-95	Sítio da Viúva	Toritama-PE	826730 9114670	Mina paralisada	Tipo Marrom Imperial	Marrom-escuro	Porfírica grosseira	Sienito porfírico	Granine		Inédito
2		VM-02	Sítio Fundão	Toritama-PE	824706 9114535	Ocorrência	Tipo Marrom Imperial	Marrom-escuro	Porfírica grosseira	Sienito porfírico	-		Inédito
3		VM-03	Sítio Sta. Maria	Toritama-PE	822448 9112030	Mina paralisada	Tipo Marrom Imperial	Marrom-escuro	Porfírica grosseira	Sienito porfírico	Min. Pedra de Fogo		Inédito
4	2	IP-48	Sítio Jucá	Pedra-PE	733129 9058456	Mina paralisada	Granito Samba	Rosa	Dobrada / nebulítica e agmatítica	Migmatito	Mármore Granito União		3
5		IP-55	Sítio Gordura	Pedra-PE	726805 9049277	Ocorrência	Granito Samba	Rosa	Bandada / nebulítica	Migmatito	-		Inédito
6	3	IP-71	Lagoa de Dentro	Alagoinha-PE	749823 9065091	Mina ativa	Vermelho Relíquia	Rosa-avermelhado	Dobrada / nebulítica	Migmatito	Cotton		Inédito
7		IP-65	Sítio Lagoa da Cidade	Sertânia-PE	702702 9096945	Mina paralisada	Vermelho Carna- naval (Frevo)	Rosa-avermelhado	Bandada / nebulítica	Migmatito	Norgran	16023	2, 3, 5
8	8	IP-66A e IP-66B	Muro Grande	Sertânia-PE	709717 9094680	Mina paralisada	Vermelho Carna- naval (Frevo)	Rosa-avermelhado	Bandada / nebulítica	Migmatito rosa	Norgran		Inédito
9	9	IP-67	Faz. Tio Jaú	Sertânia-PE	700163 9099155	Mina Paralisada	Vermelho Carna- naval (Frevo)	Rosa-avermelhado	Bandada / nebulítica	Migmatito	Fuste	16021	5
10		IP-75	Pedreira da RFFESA	Canhotinho-PE	816721 9015806	Ocorrência		Cinza-escuro	Nebulítica / flebítica	Migmatito estromático	-		
11	4	IP-84	Faz. Aline	Garanhuns-PE	779477 9025373	Mina ativa	Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	Ferreira Costa		Inédito
12	5 e 6	VM-70	Lagoa da Porta	São João-PE	785287 9025467	Ocorrência	Tipo Juparaná	Amarelo-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
13	7	VM-71	Riacho Guandu	Garanhuns-PE	779728 9026796	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
14		VM-106	Sítio Laguinho	Caetés-PE	750767 9033549	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
15		VM-107	Sítio Pau-Ferro	Caetés-PE	747791 9034155	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		2
16		VM-116	Faz. Holandesa (BR-423)	Iati-PE	739109 9007041	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave a avermelhado	Nebulítica dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
17		VM-117	Sítio Caraíbas	Iati-PE	732016 9018145	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave a avermelhado	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito

TABELA 3 – Resumo dos Jazimentos de Rochas para Fins Ornamentais da Folha Garanhuns (Parte 2/4)

N.º do Jazimento	Nº das Fotos	Nº do Afloram.	Local do Jazimento	Município	Coord. (UTM)	Status	Denominação Comercial	Cor da rocha	Textura/Estrutura	Tipo Litológico	Empresa	Doc meta	Ref. Bibliog.
18		VM-119	Sítio Limitão I	Iati-PE	738807 9017195	Mina paralisada	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	Min. Pedra de Fogo		Inédito
19		VM-120	Sítio Cachoeirinha	Iati-PE	736427 9020173	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
20		VM-121	Sítio Sacão	Iati-PE	741011 9020046	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
21		VM-122	Sítio Limitão II	Iati-PE	740760 9017904	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / oftálmica dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		Inédito
22		IP-46	Sítio angico	Venturosa-PE	735860 9049488	Ocorrência	Vermelho Ventura (Coral de Pernambuco)	Avermelhada	Porfírica grosseira orientada	Granito porfírico alcalino	-		2 e 3
23		IP-51	Sítio Pedra Furada	Venturosa-PE	737255 9051350	Ocorrência	Vermelho Ventura (Coral de Pernambuco)	Avermelhada	Porfírica grosseira orientada	Granito porfírico alcalino	-		Inédito
24	13	IP-73	Faz. Peri-peri	Venturosa-PE	738678 9054817	Mina ativa	Vermelho Ventura [Coral de Pernambuco]	Rosa-avermelhado	Porfírica grosseira orientada	Quartzosienito porfírico	Granordeste	16012	2,3,4 e 5
25		VM-112	Sítio Barreiras	Venturosa-PE	739715 9058448	Ocorrência	Tipo Rosa Tropical	Rosa-suave	Porfírica grosseira	Biotitagranito pórfiro	-		Inédito
26		VM-49	Sítio Contador	Alagoinha-PE	743467 9062185	Ocorrência	Tipo Rosa Tropical	Rosa-suave	Porfírica orientada	Biotitagranito pórfiro	-		Inédito
27		VM-48	Sítio Boa Vista	Pesqueira-PE	750924 9070440	Ocorrência	Tipo Rosa Nova Olinda	Rosa - avermelhado	Equigranular grosseira	Biotitagranito	-		Inédito
28	20	IP-96	Cidade de Toritama	Toritama-PE	824275 9112978	Ocorrência	Tipo Lilás Imperial	Cinza-lilás	Porfírica pouco orientada	Sienito porfírico	-		1 e 2
29	19	IP-45	Faz. Lajes	Pedra-PE	730500 9059885	Mina ativa	Vermelho Ipanema	Rosa-avermelhado	Equigranular média isotropa	Sienogranito	Norgran / Geolog.		1, 2 e 3
30		VM-111	Sítio Areias	Pedra-PE	725348 9056162	Ocorrência	Tipo Vermelho Ipanema	Rosa-avermelhado	Equigranular média isotropa	Granito alcalino	-		Inédito
31	25 e 26	IP-56A e IP-56B	Fazenda Caboclo	Pedra-PE	734933 9037677	Mina paralisada	Champanhe e Ouro	Cinza-claro a Cinza-amarelado	Porfírica a equigranular média	Biotita granito	Granine		2
32	21	IP-72	Serra do Gurjão	Capoeiras-PE	765459 9044902	Mina paralisada	Cinza -prata	Cinza-prata	Equigranular média	Granodiorito mi-lonítico com biotita e moscovita	Geo-Log do Brasil		2 e 3
33		IP-77	Olho d'água de Dentro	Canhotinho-PE	805340 9023437	Ocorrência		Cinza-claro	Equigranular fina a média	Leucogranodiorito com biotita e moscovita	-		2

TABELA 3 – Resumo dos Jazimentos de Rochas para Fins Ornamentais da Folha Garanhuns (Parte 3/4)

N.º do Jazimento	Nº das Fotos	Nº do Afloram.	Local do Jazimento	Município	Coord. (UTM)	Status	Denominação Comercial	Cor da rocha	Textura/Estrutura	Tipo Litológico	Empresa	Doc meta	Ref. Bibliog.
34		IP-80B	Sítio Lagoa do Jenipapo	Jurema-PE	811024 9033396	Ocorrência		Cinza-prata	Equigranular média	Monzogranito com biotita e moscovita	-		2
35		VM-78	Sítio Lajes dos Caroços	Jurema-PE	812421 9038809	Mina ativa	Tipo Amarelo-Mel	Amarelo a Cinza-amarelado	Equigranular média	Granito com biotita e moscovita	Granordeste S/A		3
36		IP-86	Sítio Taboquinha	Belo Jardim-PE	777925 9081743	Ocorrência		Cinza-esbranquiçado	Porfírica orientada	Milonito granito	-	16015	5
37		IP-90A	Jenipapo	Belo Jardim-PE	771915 9079600	Ocorrência	Galáxia Dourada	Cinza-escuro	Porfírica fina a média, cataclástica	Biotitagranito	-		2 e 3
38	11	IP-90D	Jenipapo	Sanharó-PE	773454 9084804	Ocorrência	Galáxia Dourada	Cinza-escuro a rosado	Porfírica cataclástica	Granito milonítico porfiroclástico	-		2
39	12	IP-91	Xucuru	Belo Jardim-PE	779186 9091690	Ocorrência		Cinza-claro	Porfírica	Granito milonítico	-		2 e 3
40	17	IP-93	Serra da Boa Vista	Brejo da Madre de Deus-PE	789006 9099516	Ocorrência	-	Cinza-esbranquiçado	Porfírica grosseira	Granito porfírico	-		2 e 3
41	15	IP-98A	Faz. Riacho Doce	Caruaru-PE	823320 9099836	Ocorrência	-	Rosa	Porfírica grosseira	Biotitagranito porfírico protomilonítico	-		1, 2 e 3
42	14	IP-99	Trevo I	Caruaru-PE	826718 9103748	Mina paralisada	-	Rosa-alaranjado	Heterogranular grosseira	Biotita sienogranito cataclástico com hornblenda	-		1, 2 e 3
43		VM-07	Trevo II	Caruaru-PE	825806 9101243	Ocorrência	Tipo Amêndoa Tropical	Cinza-claro	Porfírica grosseira	Biotitagranito pórfiro	-		Inédita
44		VM-01	Grota Funda	Caruaru-PE	829700 9019780	Mina paralisada	Tipo Amêndoa Tropical	Cinza-Amendoado	Porfírica com orientação de fluxo	Granodiorito	-		Inédita
45		VM-29	Serra da Onça	S. Caitano-PE	809729 9086938	Ocorrência	Tipo Cinza-prata	Cinza-claro	Porfírica com cataclase	Biotitagranito pórfiro	-		Inédita
46		VM-14	Serra da Melancia	Brejo da Madre de Deus-PE	786713 9101235	Ocorrência	-	Rosa	Porfírica gnássica	Biotitagranito pórfiro	-		Inédita
47		VM-68	Serra do Socovão	Pesqueira-PE	765652 9090300	Ocorrência	Tipo Vermelho Tropical	Vermelha	Porfírica com estrutura gnássica	Ortognaisse granítico	-		Inédita
48		VM-05	Sítio Lagoinha	S. Caitano-PE	816606 9079970	Mina paralisada	Mandacaru	Cinza-escuro e Rosa	Porfírica com estrutura cataclástica	Biotitagranito porfírico cataclástico	-		Inédita
49	16	IP-92	Sítio Furnas	Brejo da Madre de Deus-PE	794547 9099949	Ocorrência	-	Cinza-claro	Porfírica grosseira	Hornblenda biotitagranito porfírico	-		1

TABELA 3 – Resumo dos Jazimentos de Rochas para Fins Ornamentais da Folha Garanhuns (Parte 4/4)

N.º do Jazimento	Nº das Fotos	Nº do Afloram.	Local do Jazimento	Município	Coord. (UTM)	Status	Denominação Comercial	Cor da rocha	Textura/Estrutura	Tipo Litológico	Empresa	Doc meta	Ref. Bibliog.
50		IP-94	Faz. Boa Vista / Sítio Caldeirão	Brejo da Madre de Deus-PE	793100 9108648	Ocorrência	-	Cinza-escuro	Equigranular grosseira, pouco orientada	Granito milonítico	-		1
51	22	IP-87	Sítio Calunga	São Bento do Una-PE	783955 9069342	Ocorrência	-	Cinza-prata	Equigranular média orientada	Granito milonito com moscovita e biotita	-		Inédita
52	23	IP-89	Faz. Pedra Comprida	São Bento do Una-PE	775579 9064130	Ocorrência	-	Cinza-escuro	Equigranular / porfírica grosseira	Quartzomonzonito porfírico protomilonítico	-		2
53	24	IP-78	Sítio Pedra do Navio	Paranatama-PE	754820 9017857	Ocorrência	-	Cinza	Equigranular média	Monzogranito com biotita e moscovita	-		2 e 3
54	18	IP-97A	Sítio Logradouro	Brejo da Madre de Deus-PE	811318 9096450	Ocorrência	-	Cinza-rosado	Porfírica grosseira	Hornblenda-biotita quartzomonzonito porfírico	-		1
55		IP-97B	Sítio Pocinho	Brejo da Madre de Deus-PE	808388 9097649	Ocorrência	-	Cinza-rosado	Porfírica grosseira	Granodiorito	-		1
56		IP-97C	Fazenda Velha	Brejo da Madre de Deus-PE	809270 9093386	Ocorrência	-	Cinza-rosado	Porfírica grosseira	Granodiorito	-		1
57		VM-04	Perpétuo Socorro	Caruaru-PE	820498 9100943	Ocorrência	Rosa Tipo Jacarandá	Rosa-suave	Porfírica gnáissica	Ortognaisse granítico	-		Inédita
58		VM-73	Sítio Morro Alto	Jupi-PE	787716 9039381	Ocorrência	Bege Tipo Tropical	Bege com tons rosa	Flebítica / nebulítica	Ortognaisse migmatizado	-		1
59		VM-74	Vargem do Gado	Lagedo-PE	793276 9037142	Ocorrência	Rosa Tropical	Rosa-suave	Flebítica / nebulítica	Ortognaisse migmatizado	-		1
60		VM-113	Sítio Caraíbas	Japecanga-PE	731451 9025135	Ocorrência	Tipo Verde Cana	Verde	Porfírica	Diabásio	-		Inédita
61		VM-60	Sítio Capoeiras	Poção-PE	753659 9093168	Ocorrência	Tipo Cinza Corumbá	Cinza-claro	Porfírica com foliação de fluxo	Granito porfiro	-		Inédita
62	10	VM-37	Sítio São Francisco	Cachoeirinha-PE	800862 9046293	Mina Paralisada	Frevança	Cinza-claro a rosa-suave	Nebulítica / schlieren dobrada	Ortognaisse migmatizado	Bricon		Inédita
63		VM-38	Sítio Bonito	Cachoeirinha-PE	796953 9047858	Ocorrência	Rosa Pernambuco	Rosa-claro	Porfírica	Quartzosienito	Mineração Pedra do Sol		2
64		VM-84	Brejo de João Alves	Panelas-PE	826679 9037100	Ocorrência	-	Rosa-suave	Porfírica grosseira	Granito pórfiro	-		Inédita
65		VM-86	Sítio Pau-Ferro	Panelas-PE	829069 9044840	Ocorrência	Tipo Preto Grafite	Preto-grafite	Equigranular	Quartzo microdiorito porfírico	-		Inédita
66		VM-92	Sítio Lagamar	Garanhuns-PE	776749 9027703	Ocorrência	Tipo Rosa Imperial	Rosa-suave	Nebulítica / schlieren / dobrada	Ortognaisse migmatizado	-		2

BIBLIOGRAFIA:

- Zanini, L.F.P., 1983; 2. Minérios / SUDENE, 1984; 3. Minérios / SUDENE, 1987; 4. Minérios / SUDENE, 1989; 5. DocMSIGA-CPRM, 1990

LEGENDA DA FIG. 1

ROCHAS PARA FINS ORNAMENTAIS

Simbologia IAEG	Fatores de Atratividade								Corpo Granítico	Características Gerais dos Corpos/Graníticos (Jazimentos Contidos)	Condicionante Litológico do Jazimento (Unidade Geológica Prospectável)	
	FC	FT	FH	FF	FM	FE	FN	FD				FI
G-84	14	10	8	10	4	5	20	6	8	Sienito de Tortama	Granito tipo Marrom Imperial de composição sientica/monzonítica e cor marrom-escuro. Jazimentos 1, 2 e 3, sob a forma de lentas.	Quartzosienito, aforante em Toritama e Cachoeirinha. Suite shoshonítica.
G-80A	12	8	5	8	5	10	20	6	6	Migmatito de Caranhuns	Granito movimentado tipo Rosa Imperial, cor rosa bastante suave. Eixotado na forma de blocos. Jazimentos 11, 12, 14, 15 e 66.	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlados pela sequência de migmatitos rosa-avermelhados.
G-80B	12	8	5	8	5	10	20	6	6	Migmatito de Iati	Granito movimentado semelhante ao tipo Rosa Imperial, cor rosa-suave com faces de tonalidade avermelhada. Jazimentos 16, 17, 18, 19, 20 e 21.	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlados pela sequência de migmatitos rosa-avermelhados.
G-79A	10	8	5	8	6	10	20	6	6	Migmatito de Pedra (Jucá)	Granito movimentado tipo Samba, cor rosa. Exportado sob a forma de blocos. Jazimentos 4 e 5.	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlados pela sequência de migmatitos rosa-avermelhados.
G-79B	10	8	5	8	6	10	20	6	6	Migmatito de Lagoa de Dentro-Pesqueira	Granito movimentado tipo Reliquia, cor rosa-suave. Exportado em forma de blocos. Mina nº 6.	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlado pela sequência de migmatitos rosa-avermelhados.
G-77A	10	8	5	10	6	10	18	5	5	Migmatito de Seretânia	Granito movimentado, bandado, tipo Frevo. Cor rosa-avermelhado. Foi exportado sob a forma de blocos. Jazimentos 7, 6 e 9.	Ortognaisse e migmatitos indiferenciados, com mesosoma de composição alcalina. Sequência migmatizada de cor rosa-avermelhado.
G-77B	10	8	5	7	6	10	20	5	6	Migmatito de Lajedo	Granito movimentado, bandado, de cor rosa-suave, com tons avermelhados. Jazimentos sob a forma de maciço rochoso nº 58 e 59.	Ortognaisse e migmatitos indiferenciados, com mesosoma de composição alcalina. Sequência de ortognaisse migmatizados de cor rosa-avermelhado.
G-76	12	8	6	5	6	10	20	5	6	Ortognaisse Migmatizado de São Francisco	Granito movimentado de cor cinza a rosa-suave, com estrutura nebulitica/forada. Mina nº 62.	Ortognaisse migmatizado de composição granítica a granodiorítica.
G-72	12	7	7	5	6	5	15	7	8	Ortognaisse Cataclástico de Caruaru	Granito orientado de textura augen e coloração rosa-suave. Jazimento em forma de maciço nº 57.	Granito grosseiro, porfítico da sequência calcialcalina, localmente cataclásado.
G-70	10	7	7	5	6	5	15	7	8	Granito Serra do Socová	Granito orientado grosseiro, porfítico, de coloração vermelha. Excelente aspecto estético decorativo devido à presença da foliação de fluxo. Jazimento nº 47.	Granito porfítico vermelho, localmente foliado. Pertence à suite k-calcialcalina metaluminosa.
G-68B	7	6	7	10	10	0	14	6	8	Granito de Venturosa	Granito grosseiro, porfítico, cor vermelha tipo Vermelho Ventura. Vendas internas e ocasionalmente externas de blocos e escabeos. Jazimentos 23 e 24.	Granitos pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa.
G-68A	7	8	8	10	10	0	12	5	8	Granito de Pedra	Granito equigranular de granulação média, rosa-avermelhado. Tipo Vermelho Ipanema. Mercado interno e eventualmente externo. Jazimento 29 e 30.	Granitos pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo os tipos de cores amendoa e cinza.
G-67	7	7	8	10	10	0	12	5	8	Sienito de Tortama	Quartzosienito de cor marrom, textura porfítica média. Passível de emprego no mercado interno. Jazimento 28, sob a forma de matacões e encaixões.	Suite shoshonítica peralcalina (encante dos granitos tipo Marrom Imperial).
G-62A	6	7	8	10	10	0	10	5	6	Granito de Tará-Serra Redonda	Granito de textura equigranular média e cor cinza-claro a cinza-amarelado. Mina nº 31. Material negociado no mercado interno e eventualmente externo.	Sequência peraluminosa leucocrática, formada por leucogranitos e metagranitoides com biotita e granada.
G-62B	6	7	8	10	10	0	10	5	6	Granito de Jurema	Granito equigranular de cor cinza-amarelado. Ocorre sob a forma de matacões e matacões. Mina nº 35.	Sequência peraluminosa leucocrática formada por leucogranitos e granitos a duas micas.
G-60	8	9	10	10	8	0	5	5	5	Granito de Alagoinha	Granito grosseiro porfítico, de cor rosa. Ocorre sob a forma de extensos madios, pouco fraturados. Localmente nota-se passagens para fácies equigranular.	Granito pertencente à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo tipos de cores amendoa e cinza.
G-59	6	8	10	10	10	0	5	5	5	Granito de Capoeiras-Lajedo	Granito de cor cinza-prata. Equigranular fino a médio. Mina paralisada nº 32 e jazimentos 33, 34 e 51.	Leucogranitos e metagranitos com biotita e muscovita. Suite peraluminosa leucocrática.
G-58	6	7	10	10	10	0	5	5	5	Granito de Caruaru - Anoverde	Granito grosseiro porfítico com fácies equigranular, com tons de cor rosa a cinza-claro. Mina paralisada nº 42 e jazimentos 36, 40, 42, 43, 44, 46 e 37.	Granitos grosseiros, porfíticos de cor rosa e cinza, pertencentes à suite k-calcialcalina.
G-55A	6	4	10	10	5	5	5	5	5	Granito de Brejo da Madre de Deus	Granito grosseiro porfítico, pouco orientado de cor cinza. Jazimentos 49, 50 e 60.	Granitos pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa.
G-55B	6	4	10	10	5	5	5	5	5	Granito de Painelas - Cupira	Granito grosseiro com textura porfítica e cor rosa suave. Jazimento em forma de maciço, nº 64.	Pertencente à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo tipos de cores amendoa e cinza.
G-51	6	5	10	10	5	0	5	5	5	Granito de Fazenda Nova	Granito grosseiro porfítico de cor cinza-rosado, com matriz rica em máficos. Jazimentos 54, 55 e 66.	Pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo tipos de cores amendoa e cinza.
G-50	6	4	10	5	5	5	5	5	5	Faixa Cataclástica São Caetano - Pesqueira	Granito porfítico de cor cinza-escuro, com foliação cataclástica e feldspatos orientados. Jazimentos 38 e 39.	Granito porfítico cisalhado. Suite k-calcialcalina metaluminosa.
G-46	6	5	5	5	5	5	5	5	5	Sienito de Cachoeirinha	Sienito rosa, textura porfítica destituída de orientação. Jazimento nº 63.	Pertence à suite shoshonítica, aforante em Toritama e Cachoeirinha.
G-45	6	4	10	5	5	0	5	5	5	Granito de São Caetano	Granito porfítico de cor cinza-claro com sinais de cataclase. Ocorrência nº 45, tipo Cinza-prata.	Granitos indistricinados ricos em biotita e muscovita.
G-42	6	6	5	5	5	0	5	5	5	Corpo diorítico de Painelas	Granito cinza a preto tipo Graffe, com textura equigranular. Jazimento nº 65.	Constitui tipos dioríticos de granulação fina. Suite k-calcialcalina metaluminosa.
G-41	6	5	5	5	5	0	5	5	5	Granito de Paranatama	Granito cinza-claro a escuro, de textura equigranular média, a duas micas. Jazimento nº 53.	Pertencente à sequência peraluminosa leucocrática.
G-40A	6	4	5	5	5	0	5	5	5	Corpo migmatítico de Carinhão	Migmatito cinza-escuro, utilizado como brita, na construção da estrada de ferro da REFESA. Ocorrência nº 10 (pedreira de brita).	Complexo Belém do São Francisco. Jazimento controlado pela sequência de migmatitos de cor cinza-claro.
G-40B	10	5	5	0	5	0	5	5	5	Diques de Diabásio	Rocha de cor verde, de excelente aspecto estético decorativo, passível de ser aproveitada na produção de ladrilhos.	Jazimento em dique de diabásio. Diques de diabásio incluídos na sequência metasedimentar.

LEGENDA DA FIG. 2

ÍNDICE DE ATRATIVIDADE ECONÔMICO-GEOLÓGICO (IAEG)

IAEG (ATRATIVIDADE)		CAMPO DE VARIAÇÃO DOS ÍNDICES DE ATRATIVIDADE
	Muito Alto	> 80 a 100
	Alto	> 60 a 80
	Médio	> 40 a 60
	Baixo	> 20 a 40

ROCHAS PARA FINS ORNAMENTAIS

Simbologia e soma (IAEG)	Fatores de atratividade									Corpo granítico	Características gerais dos corpos/Ocorrência	
	FC	FT	FH	FF	FM	FR	FD	FI	FL			
GRANITOS (G)	G-83	18	10	10	10	6	6	8	10	6	Serrote do Anil	Granito cinza-creme, não orientado, textura equigranular média a grosseira. Ocorrências 12 e 13
	G-78	6	10	10	10	10	10	6	10	6	Sítio dos Nunes	Granito rosa-avermelhado, não orientado, textura equigranular grosseira. Ocorrência 1
	G-74	10	5	10	10	10	10	8	5	6	Pajeú	Granito rosa-salmão ou avermelhado, textura porfírica, discretamente orientado. Ocorrências 4, 5, 6 e 7
	G-72	10	5	10	10	10	10	6	5	6	Conceição das Crioulas, Feijão	Granito com grandes cristais de feldspato de cor salmão, matriz escura, textura porfírica. Por vezes o granito é cinza. Ocorrências 14, 15 e 11
	G-64	6	10	10	6	10	10	6	5	6	Serrote do Pau	Granito rosa-avermelhado, orientado, textura equigranular grosseira com manchas de minerais máficos. Ocorrência 8
	G-62	2	10	5	6	10	10	8	5	6	Serra do Man	Granito rosa-amarronzado, não orientado, textura equigranular grosseira. Ocorrência 9
	G-66a	2	10	5	6	10	10	6	5	6	Pajeú	Granito rosa, textura equigranular fina a média, discretamente orientado. Ocorrência 2 e 3
	G-66b	2	10	5	6	10	10	6	5	6	Ponta da Serrinha	Granito branco-acinzentado, não orientado, textura equigranular fina a média. Ocorrência 18
	G-60c	2	10	5	6	10	10	6	5	6	Serra do Man	Granito rosa, não orientado, textura equigranular.
	G-59a	6	5	5	6	10	10	6	5	6	Serra do Arapuçá	Granito rosa, textura equigranular discretamente orientada. Ocorrência 10
	G-59b	2	5	10	10	10	5	6	5	6	Serra da Quixaba	Granito rosa-acinzentado, textura porfírica com orientação moderada. Ocorrências 16 e 17
	G-56a	2	10	5	6	10	*	6	5	6	Riacho do Ió	Granito cinza, não orientado, porfírico, granulação grosseira.
	G-56b	2	5	5	6	10	5	6	5	6	---	Granito rosa-acinzentado, orientado, com aspecto movimentado, por vezes com feldspato deformado (augen).
	G-46a	2	5	5	6	6	5	6	5	6	---	Granito rosa, movimentado (migmatito). Também ocorre variedade de cor cinza.
	G-46b	2	5	5	6	6	5	6	5	6	---	Granito cinza, movimentado (migmatito), por vezes com feldspatos deformados (augen) Ocorrência 19
	G-45	2	10	5	6	6	5	6	5	6	Três Riachos	Granito cinza, não orientado, textura equigranular grosseira com cristais de feldspato esbranquiçados.
G-40	2	10	5	6	*	0	6	5	6	---	Granito rosa, textura porfírica com cristais de feldspato rosados, pequenos e orientados.	
G-35	2	5	5	6	*	*	6	5	6	Carnaubeira e Outros	Granito rosa e cinza-esbranquiçado, textura porfírica.	
MÁR- MOL- RES (mm)	mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	---	Lentes com alternâncias de faixas claras calcíticas e escuras dolomíticas, centrímetricas a métricas, coloração creme, cinza-clara e branco-leitosa, de granulação fina a média.
QUART- ZITOS (qt.)	qt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	---	Quartzito puro, algo micáceo e ferruginoso, cores esbranquiçadas, com excesso dos quartzitos ferruginosos, textura sacaroidal, por vezes recristalizada.

- * Fatores de atratividade não avaliados por falta ou carência de informações
- Os mármores e os quartzitos não foram checados nos trabalhos de campo, e portanto deixaram de ser avaliados

CORPOS SEM INTERESSE IMEDIATO PARA PROSPECÇÃO

Fs	Coberturas sedimentares fanerozóicas
Ms	Seqüências metassedimentares compostas de rochas xistosas predominantes
Mm	Rochas máficas-ultramáficas metamorfisadas
G-0	Granitos diversos não avaliados (descartados) pela alta densidade de fraturas

MONTAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA GESTÃO DE ÁREAS DE PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Leandro Andrei Besser de Deus¹, Heloisa Vasconcellos de Medina¹ e Carlos Cesar Peiter¹

¹ Coordenação de Estudos e Desenvolvimento do CETEM
Av. Ipê, 900 – Cidade Universitária, 21495-590, Rio de Janeiro, RJ.
hmedina@cetem.gov.br , cpeiter@cetem.gov.br

RESUMO

O presente trabalho faz parte de um projeto que teve por objetivo fazer um diagnóstico sócio – econômico e ambiental sobre a atividade mineral no Noroeste do Estado do RJ, especificamente no município de Santo Antônio de Pádua, com base no geoprocessamento. Este município possui grande quantidade de pedreiras e serrarias e a produção de rochas ornamentais é a principal atividade desta região. Contudo não é considerada uma das atividades mais produtivas, principalmente por falta de um planejamento adequado e por ser de grande impacto ambiental. Por esse motivo o Cetem identificou a necessidade de estudar mais sobre essa atividade procurando auxiliar a sua gestão técnica, econômica e ambiental, o que originou uma Rede de Tecnologia Mineral, RETECMIN, no Estado do Rio de Janeiro, e posteriormente, a RETEQ-ROCHAS, em âmbito nacional, na qual atua como coordenador. Para fundamentar estudos desse tipo, a utilização do geoprocessamento como ferramenta para análises integradas mostra-se atualmente como a melhor forma de se realizar uma abordagem completa da questão. Através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é possível a integração de bases de dados de naturezas diversas que servem de subsídios para análises e operacionalização de processos de planejamento, zoneamento e gestão territorial nas centenas de pedreiras e serrarias já localizadas na região. Assim foi estruturado um banco de dados atualizável e integrado a todos esses pontos que foram plotados no mapeamento realizado.

INTRODUÇÃO

O presente estudo insere-se em um projeto maior que elaborou um Diagnóstico do Setor de Rochas Ornamentais do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, apoiado nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). O objetivo maior é fornecer bases para o planejamento das atividades econômicas provenientes da exploração de rochas ornamentais na região, propiciando uma maior produtividade e um uso mais racional dos seus recursos, minimizando, ao mesmo tempo, o impacto ambiental proveniente dessa atividade, baseado nessas novas técnicas e conceitos para gestão sustentável da produção mineral.

Em estudo anterior realizado pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) verificou-se que o mercado de rochas ornamentais e de revestimento

possui grande importância para nossa economia, (CARANASSIOS; et. al., 2000). O mesmo estudo indica que a produção brasileira de rochas totaliza 5,2 milhões de toneladas e que os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional, sendo o Espírito Santo o principal produtor com 47% do total, e Minas, o segundo maior produtor, é o que responde pela maior diversidade de rochas extraídas.

O Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, e o nosso caso em questão, o município de Santo Antônio de Pádua constituem, no ramo da mineração, um grande pólo produtor regional de rochas ornamentais com grande quantidade de pedreiras e serrarias. As aplicações principais são no revestimento de pisos e paredes, porém economicamente não é uma das atividades mais produtivas, principalmente por falta de um planejamento adequado, propósito do nosso projeto.

Exploração Mineral em Santo Antônio de Pádua

O município de Santo Antônio de Pádua fica à 260km da capital do Estado do Rio de Janeiro, com área territorial de 615,2 km² e altitude de 86 m (CITY BRASIL, 2000). Possui cerca de 38.693 habitantes (IBGE 2000 *apud* CIDE 2001), distribuída nos seus oito distritos, duas vilas e um subdistrito. Possui o clima sub-quente úmido e as temperaturas variam entre 13° e 40°C. As elevações condicionam-se em direção NE-SW, destacando-se as serras Frecheiras, Catete, Santa Cândida e Pedra Bonita (CAMPOS; et. al., 1999).

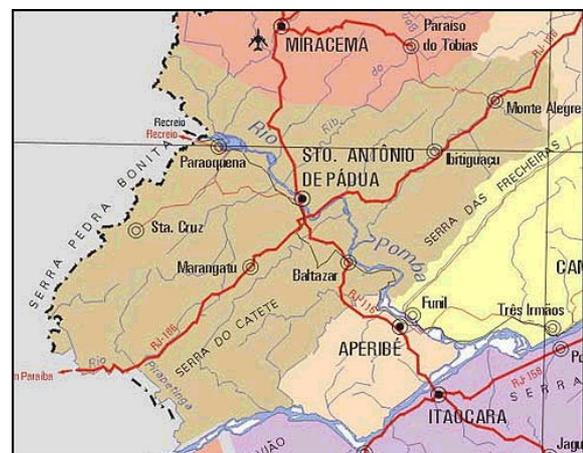


FIGURA 1 – Localização da Área Estudada: Santo Antônio de Pádua

Fonte: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2002.

O município é drenado pelos rios Pomba, Paraíba do sul e Pirapetinga. A fertilidade dos seus vales permite boas colheitas de arroz, milho, feijão, cana de açúcar e oleiculturas, com uma boa pecuária e produção de leite (CAMPOS; et. al., 1999).

O declínio das atividades agrícola-pastoril levou a mudança de atividade no fim da década de 80. Atualmente, este é o maior pólo de exploração mineral do Estado, exceto o petróleo, gerando ao redor 6000 postos de trabalho diretos e indiretos, (DAYAN, 2002). Atualmente existem mais de 200 pedreiras e mais de 50 serrarias em operação (a maioria em situação irregular) distribuídas de forma contínua pelas falhas ao longo dos municípios de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Itaperuna, as quais seguem um plano pouco ordenado, carente de tecnologia e na quase totalidade, sem planejamento ambiental.

A infra-estrutura para o escoamento da produção das lavras varia consoante sua localização. Aquelas localizadas nas partes altas da Serra do Bonfim, geralmente tem acessos abertos pelos próprios mineradores, podendo causar erosões profundas nestas vias, principalmente na época de chuvas, dificultando os acessos a esses locais (DAYAN, 2002).

Essa atividade tem crescido bastante nos últimos anos em Santo Antônio de Pádua, no entanto, as técnicas de extração dos blocos, praticamente não evoluíram, comprometendo assim a produtividade e acentuando o desgaste ambiental da região.

Os mineradores não utilizam critérios técnicos e econômicos para escolha de uma nova jazida, nem para o desenvolvimento da lavra. O simples fato de terem encontrado um afloramento rochoso é motivo para o desencadeamento do processo de retirada do capeamento e desmonte do maciço, surgindo assim, mais uma nova pedreira (DAYAN, 2002).

Estima-se que as perdas totais nas lavras e beneficiamento nas pedreiras estejam ao redor de 70%, dos quais 50% correspondem à operação de desmonte, enquanto os 20% restantes são efetuados nas operações das serrarias (DAYAN, 2002). A questão envolvendo o aumento das perdas está diretamente ligada, principalmente a acumulação de resíduos na lavra, acarretando o surgimento de um grande volume de rejeitos e efluentes líquidos não tratados, prejudiciais ao meio ambiente. Além de tudo, a reconstituição da cobertura vegetal é pouco atendida pela maioria dos mineradores.

Assim diante da importância do setor para a região em termos de renda e emprego, da falta de planejamento dessa atividade e do grande impacto ambiental gerado, o CETEM resolveu atuar de forma mais ampla e sistemática na gestão dessa atividade. Assim, constituiu-se uma rede de tecnologia mineral denominada RETECMIN-RJ (Rede Cooperativa de Pesquisa e Uso de Bens Minerais destinados à Construção Civil), visando a melhoria dos conhecimentos técnicos e científicos dessa atividade. Esta rede visa a difusão de novas tecnologias com objetivo de auxiliar a gestão desses recursos de

forma moderna e precisa, como é o caso da utilização do geoprocessamento neste projeto, objeto a ser discutido neste artigo. Atualmente, há uma rede que opera em âmbito nacional, a RETEQ-ROCHAS (Rede Brasileira de Tecnologia e Qualidade em Rochas Ornamentais), coordenada pelo CETEM.

Os Sistemas de Informações Geográficas (Sigs)

O projeto estruturado pela CES (Coordenação de Estudos e Desenvolvimento), no CETEM, considerou primordial a utilização do geoprocessamento para compor uma representação espacial completa e confiável da área analisada.

Silva (1992) define o geoprocessamento como um conjunto de técnicas que destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura. Ou seja, é uma técnica para estudos de base espacial que possibilita a integração de variáveis distintas em uma mesma base de dados.

Através dessa nova tecnologia é possível estruturar um banco de dados georreferenciado, com informações sobre a sócio – economia regional, a espacialização da exploração das rochas ornamentais, zoneamentos de áreas relevantes e estudos de impactos ambientais, úteis na construção de um quadro ambiental, onde a mineração pode ser contextualizada espacialmente.

O esquema a seguir mostra as estruturas que compõem o geoprocessamento:

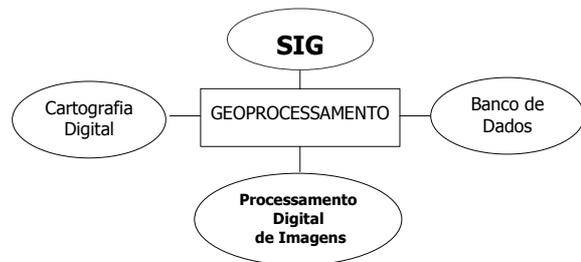


FIGURA 2 – Esquema da Composição do Geoprocessamento

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2000).

Dentre os vários ramos do geoprocessamento observados acima, optou-se pela utilização do SIG que é um conjunto integrado de hardware e software para a aquisição, armazenamento, estruturação, manipulação, análise e exibição gráfica de dados espacialmente ligados a uma posição específica no globo terrestre, relacionados a um sistema cartográfico conhecido, por meio de suas coordenadas, ou seja, dados georreferenciados (FATOR GIS, 2001).

Outro componente do geoprocessamento utilizado foi o BDG, que são unidades (tabelas) que recebem informações tabulares primárias, coletadas

em campo, e portanto, mais adequada a proposta do projeto realizado.

Esse sistema permite ainda coletar e analisar informações rapidamente proporcionando, assim, soluções para análises complexas, através da compilação de dados de diversas fontes, possibilitando também, a geração de documentos gráficos, cartográficos e/ou temáticos, colaborando para uma maior compreensão ao fenômeno estudado.

Através da realização de mapas pelos SIGs com pontos georreferenciados (serrarias e pedreiras) integrados a um banco de dados, o BDG (nomes das pedreiras, produção estimada, etc.) podemos visualizar variáveis sócio – ambientais confiáveis, de forma clara e objetiva.

OBJETIVO

Este trabalho teve cinco objetivos específicos, correspondentes as fases do presente estudo: mapear as centenas de pedreiras e serrarias, licenciadas ou não, no Noroeste do Rio de Janeiro; estruturar um banco de dados tabulares, que pudesse ser atualizado e integrado aos pontos plotados nos mapas produzidos; elaborar bases de dados digitalizadas sobre o município de Santo Antônio de Pádua e adjacências (Miracema e Itaperuna inclusive dado o falhamento geológico existente); vetorizar outras feições componentes do estudo em parceria com o CARTOGEO (Laboratório de Geoprocessamento do Núcleo de Computação Eletrônica – NCE/UFRJ), e, por fim, efetuar o recorte das bases e municípios que englobam várias cartas topográficas fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) servindo de subsídio na gestão da atividade mineral nessa região.

Este estudo utilizou como base os Sistemas de Informações Geográficas, visando assim, a confecção de mapas com diversos níveis de informações (hidrografia, hipsografia, e mesmo vias de acesso de cada ponto de produção de rochas, produzido pelo Prof. Dayan) para auxiliar os campos realizados, além de ajudar na flexibilidade de efetuar análises utilizando outras escalas, demonstrando mais facilmente propostas ou resultados, construindo relacionamentos complexos, prevendo situações e evoluções possíveis dentro da dinâmica social, econômica e ambiental desta área.

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do trabalho e os recursos utilizados para montagem de um SIG estão detalhados a seguir:

1º) Definição e aquisição de um software de SIG para operacionalização e compatibilização das informações. Os programas de geoprocessamento utilizados foram o ArcView 3.2 e o MapInfo 5.5, que possuem interface para bancos de dados, que foram acessados e trabalhados, na maior parte, em Access e Excel;

2º) Aquisição das bases georreferenciadas produzidas pelo professor Dayan em campo, utilizando o equipamento GPS, contendo pontos com serrarias e pedreiras e informações tabulares destes pontos, nomes e localizações;

3º) Pesquisa e Aquisição de bases de dados digitalizadas sobre a região em estudo:

- Hidrografia – Bacias Hidrográficas (IBGE, digitalizadas pelo CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000: Santo Antônio de Pádua);
- Hipsografia (IBGE, digitalizadas pelo CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000: Santo Antônio de Pádua);
- Limites Estaduais (IBGE, 1998);
- Limites Municipais (IBGE, 1998);
- Malha Viária (IBGE, digitalizadas pelo CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000: Santo Antônio de Pádua);
- Sedes Municipais (IBGE, 1998);

4º) Vetorização das bases não digitalizadas. Algumas bases solicitadas para o projeto não estavam em meio digital, tais como: Hipsografia (Miracema) e Hidrografia (Miracema). Estas informações foram vetorizadas em parceria do NCE/UFRJ, Prof. Dayan e CETEM, as quais, inicialmente digitalizei, e posteriormente foram finalizadas pelo NCE. Para a realização desta fase utilizamos o programa Micro Station (Igeovec e IrasB). Outras Bases tais como: Hidrografia (Itaperuna), Hipsografia (Itaperuna), Pontos Cotados (Santo Antônio de Pádua, Miracema e Itaperuna) e Malha Viária (Miracema e Itaperuna) não foram adquiridas ou realizadas até o presente momento. A relevância destas bases está no fato de alguns pontos de serrarias e pedreiras terem suas localizações exatas, com coordenadas geográficas (georreferenciadas), porém não possuíam um “pano de fundo”, ou seja, uma base digital. Em alguns casos, com o objetivo de preencher essa lacuna nas cartas produzidas, a equipe do Prof. Dayan utilizou como base uma figura “scaneada” georreferenciada da carta topográfica dos municípios estudados, porém esta encontrava-se desatualizada e sem a possibilidade de edição:

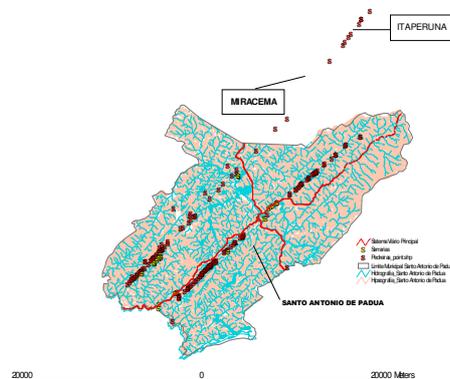


FIGURA 3 – Pontos georreferenciados sem a base digital (Itaperuna e Miracema)

Fonte: IBGE, 1998 (limite municipal), CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000 (hidrografia, hipsografia e malha viária) e Projeto Retecmin - RJ (pontos serrarias e pedreiras).

5º) Recorte das bases de acordo com os limites dos municípios que englobam várias cartas topográficas. O Município de Santo Antônio de Pádua localiza-se na confluência de 4 folhas topográficas (IBGE), escala 1:50000: Recreio (SF-23-X-D-VI-1), Santo Antônio de Pádua (SF-23-X-D-VI-2), Miracema (SF-23-X-D-III-6) e Palmas (SF-23-X-D-III-3).

6º) Integração dessas bases de naturezas diversas. As técnicas de geoprocessamento e cartográficas possibilitaram a visualização dos dados obtidos. O método empregado foi a superposição de uma série de cartas temáticas, uma para cada compartimento ambiental, possibilitando assim, uma análise do contexto atual da mineração na região. Essa metodologia chama-se *Overlay Mapping*, que favorece a representação visual “onde as técnicas cartográficas são utilizadas na localização/extensão de impactos, na determinação de aptidão e uso dos solos e de elementos relevantes, como áreas de importante interesse ecológico, cultural, arqueológico e sócio-econômico, áreas de potencial mineral, entre outros, perfeitamente adaptável a diagnósticos e avaliações ambientais. Estes mapas desenhados em material transparente, quando sobrepostos orientam os estudos em questão. Estas cartas se interagem para produzir a síntese da situação ambiental de uma área geográfica. Ressalte-se a utilidade desta metodologia para a localização, conflitos de uso e outras questões de dimensão espacial, como a comparação entre alternativas a serem analisadas num Estudo de Impacto Ambiental de um determinado empreendimento” (BASTOS e ALMEIDA, 2000). Portanto, estes mapas, através dos softwares de geoprocessamento, podem ser sobrepostos, orientando assim, estudos comparativos:

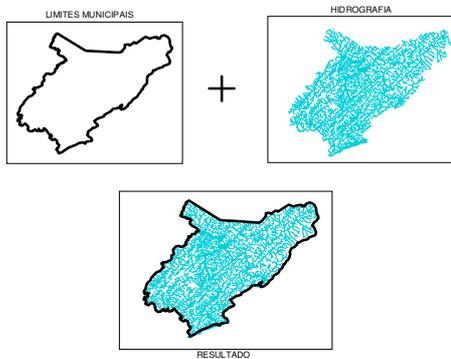


FIGURA 4 - Superposição dos Dados Georreferenciados
Fonte: IBGE, 1998 (limite municipal) e CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000 (hidrografia).

7º) Elaboração do banco de dados associado às bases gráficas estruturadas. Este banco pode ser editado em qualquer instante permitindo a inclusão de novas colunas, com outras informações relevantes, além da integração direta com os pontos que foram georreferenciados das serrarias e pedreiras obtidos em campo. Abaixo podemos ver uma parte do banco de dados. Nesta tabela consta o nome da serraria ou

pedreira, suas localizações, já estruturadas, e outras informações citadas como exemplo:

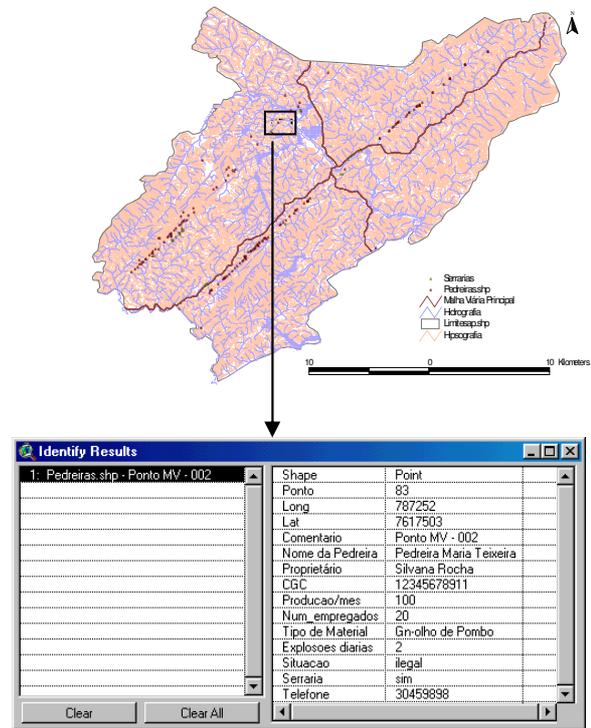


FIGURA 5 – Um exemplo de integração entre o SIG e o Banco de Dados
Fonte: IBGE, 1998 (limite municipal), CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000 (hidrografia, hipsografia e malha viária) e Projeto Retecmin - RJ (pontos serrarias e pedreiras).

Na última etapa da confecção dos mapas, percebemos que havia uma divergência em relação as bases confeccionadas pelo NCE e bases conseguidas em outras instituições devido a diferentes fusos utilizados. Assim as bases não conseguiram ser sobrepostas, por esse motivo, tivemos que georreferenciar novamente os dados de acordo com as especificações cartográficas corretas e em alguns casos, estruturar novas bases, como foi o caso do recorte dos municípios utilizados (limites municipais).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto maior referente ao diagnóstico e gestão das áreas do Noroeste Fluminense foi evoluindo no decorrer do tempo e muitos foram os resultados alcançados. O presente trabalho irá expor uma rápida síntese das etapas e os resultados alcançados, para, em seguida, mostrar os principais resultados conseguidos para o município Santo Antônio de Pádua e adjacências.

Em quatro campanhas de mapeamento geológico para locação e zoneamentos das jazidas, buscando a localização precisa das lavras de rochas

ornamentais, a equipe do Prof. Dayan, do Departamento de Geologia/UFRJ em parceria com o CETEM, procedeu ao levantamento, usando bases do IBGE, no decorrer de aproximadamente 2700km, em estradas locais que foram marcadas com 50000 pontos de GPS efetuadas em 340 estações, diagnosticando aproximadamente 200 pedreiras e mais de 50 serrarias ao longo das falhas Itajara-Pirapetinga e de Santo Antônio de Pádua (todas pontuadas e georreferenciadas). De acordo com Dayan, 2002, “fica difícil, em muitos casos, contarmos ou definirmos, o número de pedreiras nesta área, uma vez que uma única frente de lavra pode ter mais de um dono”. Já foi constatado até numa mesma bancada mais de 9 donos. Este autor cita ainda que “o universo do número de pedreiras é desconhecido, principalmente pelo fato de que um grande percentual das mesmas opera sem os devidos licenciamentos”.

As vias de acesso às lavras que também foram registradas neste aparelho são informações consideradas inéditas já que o acesso as pedreiras e serrarias é difícil e alguns dados do IBGE encontravam-se desatualizados. É possível verificar no mapa produzido pela equipe do Prof. Dayan (Relatório Final de projeto referente ao mapeamento geológico estrutural, 2002) o acesso à cada pedreira e serraria facilitando o alcance as mesmas, auxiliando em campos e pesquisas futuramente realizadas. No trabalho de apoio ao mapeamento geológico usou-se o software “Map Info” e foi elaborado pelo Geógrafo Gustavo Granha, contratado pela RETECMIN - RJ para tal.

Após a compilação desses dados com o software utilizado foram possíveis a produção de mapas de situação (estradas, pedreiras e serrarias) e o primeiro mapa geológico estruturado, reforçados mais tarde, pelo curso ministrado para o Departamento de Geologia, pelo Geógrafo José Antonio Sena do Nascimento.

Estes mapas também ajudaram muito em certas constatações geológicas realizadas pela equipe do Prof. Dayan. Através dos mapas pôde-se notar que não existem lavras de rochas ornamentais ao longo da falha de Miracema e todas as lavras desta região concentram-se ao longo das falhas de Itajara e Santo Antônio de Pádua, motivo pela continuidade das serrarias e pedreiras como observamos na cartas confeccionadas.

Para o presente trabalho, os resultados obtidos foram: as bases cartográficas estruturadas e tratadas possibilitando a produção de mapas para campo; a digitalização e aquisição das informações que faltavam; a elaboração das tabelas sobre as serrarias e pedreiras para o monitoramento dessas informações; e por fim, a implantação de um núcleo de geoprocessamento no CETEM reforçado pela aquisição de softwares desta área.

Os pontos que foram plotados da localização exata das serrarias e pedreiras mapeadas, também possuem um banco de dados geográfico associado com nome da serraria ou pedreira e suas localizações. Até o momento foram tratadas apenas estas duas informações, mas futuramente, poderão ser incorporados, a este banco, informações

proveniente da DRM_RJ, quanto a situação legal ou ilegal dessas atividades que está utilizando os resultados da montagem desse banco de dados, no auxílio ao trabalho de fiscalização e apoio à essas áreas.

Podemos verificar os mapas a seguir, como alguns resultados deste mapeamento utilizando as técnicas de SIG como suporte:

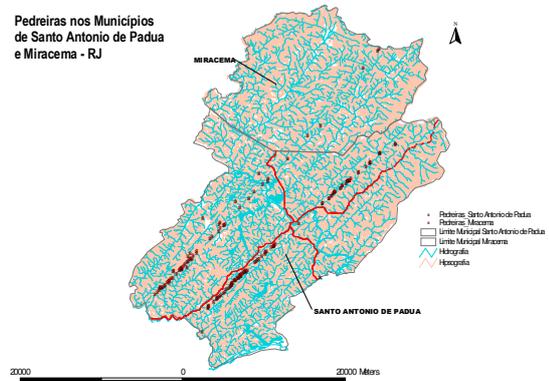


FIGURA 6 – Pedreiras Georreferenciadas nos Municípios de Santo Antônio de Pádua e Miracema - RJ



FIGURA 7 – Serrarias Georreferenciadas no Município de Santo Antônio de Pádua – RJ

Fonte: IBGE, 1998 (limite municipal), CARTOGEO/NCE/UFRJ, 2000 (hidrografia, hipsografia e malha viária) e Projeto Retecmin - RJ (pontos serrarias e pedreiras).

Estas situações descritas acima são apenas alguns exemplos do que podemos realizar com o geoprocessamento. Há também, outras informações igualmente georreferenciáveis, que poderão ser espacializadas posteriormente, de acordo com as análises pretendidas.

Os problemas encontrados, no decorrer do trabalho, concentram-se principalmente na dificuldade de obtenção e aquisição de dados e a capacidade de compatibilidade desses materiais com os softwares utilizados. A maioria dessas bases é de fontes

oficiais, o que decorre numa periodicidade maior de atualização dos dados.

Portanto a problemática da desatualização cartográfica nacional e a quase extinção dos mapeamentos sistemáticos dificulta a realização de projetos onde são necessárias informações provenientes de documentos cartográficos precisos e atualizados.

Além disso, é fundamental citar a importância da disponibilidade de equipamentos e programas de alto nível e que sejam capazes de realizar as atividades propostas. Para a realização da tarefa acima tivemos que adquirir softwares de computadores avançados que permitissem a entrada desses dados que ainda estavam apenas em formato matricial.

Para maiores avanços e desdobramentos deste trabalho faltam ainda estruturar e adquirir outras bases de dados relevantes para completar a estrutura digital que orientará análises e subsidiará a estruturação de mapas futuros, como vimos na figura 3, ainda há pontos flutuando e bases faltando como o sistema viário de Miracema e bases do município de Itaperuna que possui pedreiras já georreferenciadas.

CONCLUSÕES

Sumarizando a discussão acima pode-se dizer que conseguimos espacializar uma grande quantidade de dados referentes aos aspectos sócio-ambientais, dos municípios de Santo Antônio de Pádua e parte de Miracema, tais como, elementos do quadro ambiental regional, e outros aspectos relevantes, que permitiram algumas descobertas e constatações sobre a atividade mineral nesta região.

Metodologicamente o geoprocessamento provou ser uma ferramenta eficaz para indicar situações onde a exploração mineral poderá confrontar-se com restrições ambientais e/ou expansão de atividades concorrentes. Da mesma forma, o estudo do potencial geológico mostrou-se bastante útil para indicar os possíveis caminhos que a mineração pode tomar, principalmente, no sentido de sua intensificação, como foi citado no relatório final do Prof. Dayan, 2002, nos dois alinhamentos já existentes como zonas de falhas ou mais especificamente zonas de cisalhamento dúcteis. De acordo com Xavier da Silva (1982), citado por Remi (1998), uma das aplicações das novas tecnologias e especificamente do geoprocessamento, "...é a proteção e preservação da natureza, definindo e acompanhando áreas sensíveis (proteção de paisagem) e quanto aos recursos naturais, estabelecendo e acompanhando zonas de riscos ambientais, prevenção de catástrofes, etc."

Podemos apontar como uma conclusão desse estudo a importância de trabalhos desse tipo em redes cooperativas que coloquem em discussão a questão ambiental, ao mesmo tempo, que confere maior sustentabilidade e competitividade a atividade mineral tentando evitar "ecodesastres" que a humanidade presenciou durante toda sua história.

Esta área em especial deverá ser cada vez mais pensada e discutida, de forma a ter sua imagem real esboçada. Este retrato apenas poderá ser revelado através de técnicas modernas de representação espacial e através de bases confiáveis e atualizadas possibilitando análises futuras consistentes e efetivamente utilizadas pelos tomadores de decisão. Ou seja, um planejamento econômico e ambiental apoiado e monitorado nas bases de um sistema de informações geográficas integrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastos e Almeida. Metodologias Ambientais. In: Avaliação e Perícia Ambiental / Sandra Baptista da Cunha, Antonio Teixeira Guerra (organizadores) – 2ª ed. – RJ: Bertrand Brasil, cap 2, 294 p., 2000.
- Campos, A. R. [et. al.]. Santo Antônio de Pádua: um pólo de extração de Rochas Ornamentais no Estado do Rio de Janeiro. In: Revista Mineração e Metalurgia, v. 63, nº 551, pp. 15-21, 1999.
- Caranassios, A. [et. al.]. Termo de Referência Setorial da Indústria de Rocha Ornamental do Brasil. CETEM / Centro de Tecnologia Mineral. RT-30/00, 85 p., 2000.
- Dayan, H. Relatório Final de projeto referente ao mapeamento geológico estrutural - em CDROM. Projeto RETECMIN – RJ / CETEM. 2002.
- FATOR GIS. Qual a melhor definição de SIG. Curitiba: Sagres. Ano 2, nº 11, out/nov/dez, 20 p., 2001.
- Menezes, P. M. L. de. [et. al.]. Considerações cartográficas em geoprocessamento – a problemática atual, 6 p., 1998.
- Remi, P. Relações entre o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto. Rio de Janeiro / RJ: AG Brasil, 40p., 1998.
- Silva, J. X. da. Geoprocessamento e análise ambiental. In: Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, v. 54, nº 3, pp. 47-67, 1992.
- www.cide.rj.gov.br/produtos/anuario01/anuario01.asp. Anuário Estatístico: Informações Populacionais. 2001.
- www.citybrasil.com.br. Informações sobre o município de Santo Antônio de Pádua. 2000.
- www.governo.rj.gov.br/municipios.asp. Mapa da Localização do município de Santo Antônio de Pádua. 2002.
- www.inpe.br. Ilustrações do Trabalho. 2000.

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AS PEDREIRAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA COM ESTUDO DE CASO CAUCAIA / CHOROZINHO-CE

Clairton Ciarlini^{1*} e Jáder Onofre de Moraes^{2*}

¹Geólogo, Mestre em Geografia, em Análise Geoambiental e Ordenação do Território nas Regiões Semi-Áridas e Litorâneas.

²Geólogo, PhD em Geologia, Professor Titular do Departamento de Geociências da UECE, em Geologia no Planejamento Ambiental.

*Depto. de Geociências/UECE - Av. Paranjana, 1700 – Campus do Itaperi – 60.740-000 – Fortaleza – CE
Fone: (85) 299-2678

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de novas tecnologias na identificação e caracterização das Pedreiras localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, com estudo de caso Caucaia e Chorozinho no Estado do Ceará. Inicialmente este trabalho procura embasar a fundamentação teórica através da teoria sistêmica na interdependência dos componentes físico-bióticos e nas relações dos seres vivos com o meio natural. No segundo momento foi realizado o procedimento metodológico em que foram feitas as caracterizações e delimitações das Pedreiras através da análise a partir do SGI (Sistema de Informação Geográfica) e GPR (*Ground Penetrating Radar*).

A contextualização das áreas teve como base o levantamento de informações necessárias a compreensão dos componentes ambientais das pedreiras como: geologia, geomorfologia, condições hidro-climáticas, solos e vegetação. A caracterização local das pedreiras de Caucaia foi realizada com as principais pedreiras produtoras de brita da região em atividade, tendo com destaque a pedreira do Jacurutu em que foi feita uma caracterização mais detalhada pela sua importância na construção do Terminal de Embarque Provisório (TEP), bem como no quebra-mar de proteção aos *piers* do Porto do Pecém. Na pedreira de Chorozinho, neste caso de rocha ornamental, foi feito um estudo de GPR com apresentação de radagrama para a detecção de fraturas no granito Cotton Ceará. Na última parte da pesquisa foram feitas as conclusões sobre o uso de geotecnológicas aplicadas em pedreiras tanto de brita como de rochas ornamentais.

INTRODUÇÃO

O resultado das ações antrópicas, modificando e transformando o ambiente natural de acordo com suas necessidades, são perceptíveis ao longo de toda a sua relação espaço-temporal da humanidade. Isto está no contexto do aumento da população e suas necessidades de produção e consumo. Portanto houve necessidade de enfocar as questões ambientais sob o ponto de vista da

biodiversidade, impactos ambientais, sustentabilidade dos recursos naturais e geotecnologias.

Os estudos físicos-geográficos voltados para as questões ambientais, tendem a adotar escalas de trabalhos para análise de áreas de interesse específico integrando a geologia e geografia. Esta integração enfrentava dificuldades devido as limitações tecnológicas, mas atualmente novas técnicas de geotecnologias aplicadas permitem conhecer as dependências ou a coincidência espacial entre as variáveis ambientais.

A atividade de mineração era considerada como um potencial fator de degradação ambiental, o que vem sendo minimizado pelo fato da oportunidade de se criar novas formas de paisagens sem impactos e mais interessantes e que pudessem compatibilizar a exploração, produção, consumo e beleza cênica.

As áreas em estudo (Figura 1) estão localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, que depois de institucionalizada em 1974 vem se ampliando territorialmente e as pedreiras estudadas estão todas catalogadas e regulamentadas pelo DNPM. Os municípios de Caucaia e Chorozinho onde estão situadas as pedreiras em estudos são delimitados pelas coordenadas: latitude (S) 3°44'10" e longitude (W) 38°39'11" e latitude (S) 4°18'01" e longitude(W)38°29'52", respectivamente.

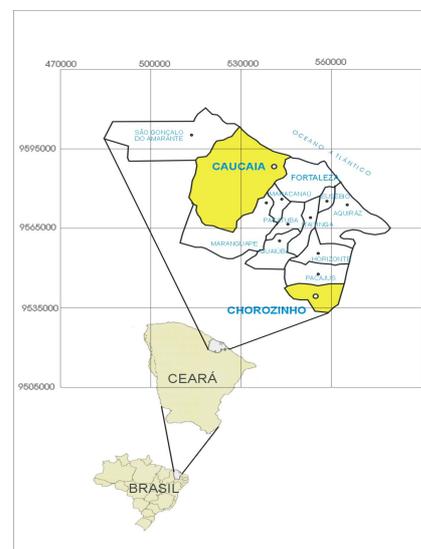


FIGURA 1 - Localização geográfica da Região Metropolitana de Fortaleza(RMF) com as áreas de estudo.

MATERIAS E MÉTODOS

O estudo do meio físico das áreas dos municípios de Caucaia e Chorozinho teve como base uma revisão sistemática dos levantamentos setoriais anteriormente publicados de Sistema de Informações Geográficas SIG e *Ground Penetrating Radar* (GPR), observações de campo feitas através de perfis transversais e longitudinais das pedreiras analisadas.

A geotecnologia tem sua utilidade num campo de conhecimento complexo e multidisciplinar, podendo ser concebido como um sistema de aquisição de informações sobre o ambiente terrestre, baseado no uso sistemático de sensores remotos. Sua metodologia voltada à conversão de sinais derivados da integração entre a radiação eletromagnética e corpos materiais.

O sensoriamento remoto é definido como "... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno". (LILLESAD & KEIFER, 1987).

Nesse processo de estudo das pedreiras foram utilizadas imagens de satélite do programa americano da serie LANDSAT, antigamente ERTS (Earth Resource Technology Satélite), A escolha das bandas e da resolução foi feita em função das exigências multidisciplinares (Figura 2) com três imagens de Landsat em diferentes bandas e períodos. Os aplicativos de softwares como ENVI versão 3.2, SPRING versão 3.5, AutoCAD Map versão 2000, SURFER versão 7.0 e PHOTOSHOP versão 6.0, todos para plataforma Windows.

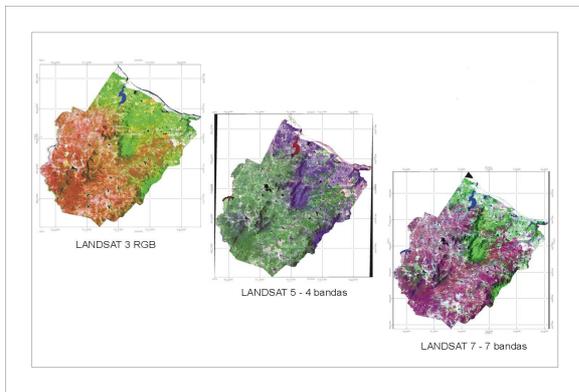


FIGURA 2 - Comparação espaço-temporal estabelecida com o uso de Imagens do Landsat de Caucaia com bandas multiespectrais variadas.

A ferramenta geofísica RAMAC/GPR que é um sistema suíço básico (Figura 3) que inclui antenas, unidade de controle, transmissor e receptor eletrônico, jogo de cabo de fibra óptica, bateria recarregável, programa de software e notebook.



FIGURA 3 - RAMAC/GPR, com todas os seus acessórios, utilizados neste trabalho

Na etapa seguinte, além da contextualização e caracterização local de cada pedreira, também foram feitos trabalhos de campo como perfis, preenchimento de fichas, entrevista com cada responsável pela lavra e produção, e, finalmente as conclusões finais da pesquisa. Em algumas pedreiras observadas existe um verdadeiro descompasso entre o planejado e o realizado como também entre os avanços de implantação, extração e desativação que devem ser desenvolvidas de forma simultâneas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pedreira de brita do Jacurutu está localizada no distrito de Primavera no Serrote do Jacurutu situado a SSE da Ponta do Pecém, cerca de 14,5 Km de distância da mesma em linha reta, alcançando uma altitude aproximada de 200m (Figura 4).



Figura 4 - Vista panorâmica da Pedreira do Jacurutu com 300m altitude.

Em planta, o Serrote do Jacurutu apresenta um formato equidimensional como está representada pela imagem de satélite do Landsat 3 (Figura 5). Na parte superior apresenta a janela da imagem principal da pedreira e sua relação com outras unidades naturais; na parte inferior à direita representa a imagem total da área em que foi sensoriada com equivalência de 185 Km² de área coberta e ao lado esquerdo. O zoom da mesma imagem em destaque para a forma e delimitação da pedreira do Jacurutu, podendo chegar a uma resolução em torno de 30 x 30 m.



FIGURA 5 - Imagem do landsat 3 com Janela Principal(parte superior), Scroll Windows(parte inferior esquerda) e Zoom(parte inferior direita).

A Pedreira do Jacurutu apresenta uma foliação NE-SW, com mergulho para leste, tal fato explica a ocorrência de pequenas ressurgências, junto ao sopé do Serrote, na sua vertente leste.

O Serrote do Jacurutu compreende um *inselberg*, datado do Pré-Cambriano constituída por gnaisse de composição granítica, significativamente rica em quartzo e situa-se na zona de contato entre a Depressão Sertaneja ao sul e os Tabuleiros Pré-Litorâneos ao norte.

A precipitação média anual alcança índice em torno de 1600mm, índice este que é um pouco superior a taxa de evaporação. A área da Pedreira encontra-se localizada na bacia hidrográfica do Rio Cauípe, que integra a bacia conjugada ao Rio Ceará. (RADAMBRASIL, 1981).

De acordo com o plano de lavra da pedreira do Serrote Jacurutu, elaborado pela Construtora ANDRADE GUTIERREZ, em que foi requerida uma área de 37,8 ha que deveria ser lavrada em diferentes etapas segundo este plano o volume estimado a ser extraído corresponderia a um total de 1.322.000 m³, havendo sido extraído cerca de 5.502.722 m³. A pedreira foi lavrada com a finalidade principal de fornecer brita para a construção do Terminal de Embarque Provisório (TEP) do Quebra-Mar do Porto do Pecém. O desmonte do corpo rochoso foi feito pelo método de extração e plano de fogo com ação de explosivos, este é acionado através de estopim ou cordel provido de espoleta simples ou retardo. O transporte dos blocos da pedreira ao Porto do Pecém foi realizado através de caminhões do tipo basculante até o terminal de embarque provisório, e daí, através de barcaças até o porto de lançamento.

Com o uso de software geotecnológico pode-se fazer uma representação de um modelo hipsométrico tridimensional para a pedreira (Figura 6). Na parte superior direita da figura está a imagem da pedreira em fotografias áreas com devidos reajustes de escala, interpolações de curvas de níveis e modelo em *grid* do mapa topográfico. Na parte inferior observa-se o movimento rotacional em vários ângulos da pedreira enfocando seu entorno geométrico com as outras unidades naturais.

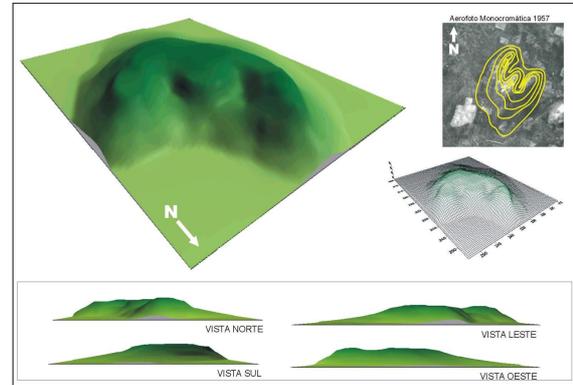


FIGURA 6 - Modelo Hipsométrico tridimensional da Pedreira do Jacurutu

Com o mesmo procedimento inicial anterior foi feito o modelo hipsométrico digital tridimensional da pedreira para a parte explotada, a diferença é que o mapa topográfico utilizado foi o de detalhe que a empresa utilizou para o seu projeto (Figura 7). Além da elaboração desse modelo digital pode-se fazer uma comparação com a fotografia aérea com 350m de altitude. No modelo foi delimitada a parte que já foi explotada e da mesma forma que o anterior foi redimensionado e monitorando a frente de lavra. Observa-se que o modelo hipsométrico digital tridimensional foi projetado a partir do mapa topográfico de detalhe da frente de lavra, que foi utilizado pela empresa em sua plena atividade no período de produção para o Porto do Pecém.

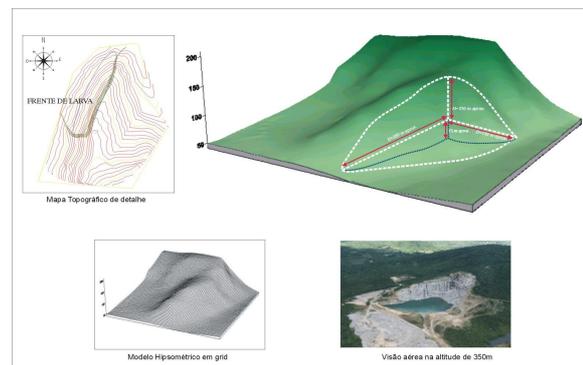


FIGURA 7 - Modelo Hipsométrico digital tridimensional da Pedreira do Jacurutu.

O *Ground Penetrating Radar* (GPR) é uma técnica geofísica de imageamento de subsuperfície que utiliza um pulso elétrico para gerar ondas eletromagnéticas radiadas para dentro da terra por antenas colocadas na superfície. A emissão,

transmissão, reflexão e refração das ondas eletromagnéticas se define mediante as equações de MAXWELL (SALINAS 1995). Os impulsos eletromagnéticos de alta frequência, emitidos por antenas transmissoras, passam através da superfície da terra até atingir uma dada profundidade, estes sinais variam de acordo com a mudança das propriedades elétricas dos materiais. Nas interfaces elétricas o sinal é refletido ou refratado, tornando-se mais atenuado ou dissipado dentro do material. O sinal refletido é detectado na superfície por antenas receptoras, as quais ficam próximas ao transmissor. Esta técnica permite obter uma resolução na ordem de 1cm em profundidades de até 50m (ALMEIDA & BOTELHO, 1995).

Com exceção das litologias altamente condutores, o restante dos materiais pode ser detectado pelos impulsos, sendo as reflexões obtidas decorrentes das discontinuidades dos diferentes tipos de materiais rochosos. A essência desse método é a medida exata dos sinais num dado período de tempo, normalmente medido em nanossegundos (10^{-9} s), que depende da velocidade do sinal em superfície, quando atravessam material e são refletidos de volta a superfície onde são recebidos pelas antenas receptoras. Através de cálculo, o tempo pode ser convertido em profundidade, de acordo com as velocidades de propagação das ondas nos materiais.

Existem oito posições para configurações de antenas de transmissão e recepção (S. TILLAR, 1994, figura 8). Procurou-se neste trabalho definir entre as configurações de antenas de melhor qualidade dos sinais refletidos e recebidos para a pesquisa, utilizando- a antena de 100MHz para a recepção de imagens.

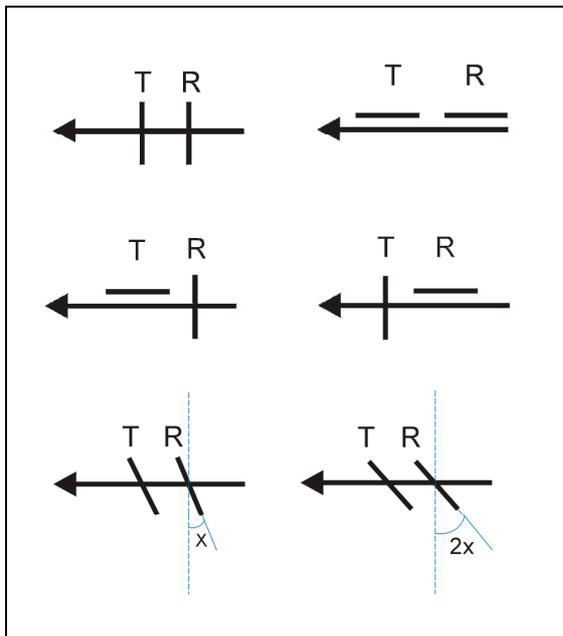


FIGURA 8 - Configuração básica das antenas do GPR

O processamento de dados feito nos perfis da pedraira do granito Cotton Ceará de Chorozinho

(figura 9), pelo RAMAC/G.P.R em que este equipamento contém um vasto número de informações geológicas arquivadas em seus diretórios. Para que a apresentação dos resultados seja visível o RAMAC/G.P.R procede a um número de comando simples, os quais são necessários para um bom resultado como comando de filtragem, ganhos de informações digitais etc. Todos estes comandos estão contidos nos disquete que acompanham o equipamento, entretanto, em muitos casos, para um melhor processamento de informações é necessário aumentar as reflexões e/ ou suprimir ou eliminar as desnecessárias. Este tipo de processamento pode ser feito como são os processamentos da sísmica, pelo fato deste dois métodos, de pesquisa serem muito similares (amplitude e função do tempo). Deve-se tomar alguns cuidados para que o processamento seja feito de maneira correta, para que isso não ocorram erros de interpretação.



FIGURA 9 - Perfil longitudinal com 74m de comprimento com espaçamento e leitura

Os dados processados no RAMAC/GPR caracterizados como dados brutos, ou seja, sem filtragem e sem a transformação do tempo 400 ns em profundidade, formam a imagem captada pela antena receptora em tons de cinza a seguir é feita a classificação para que torne-se colorida (Figura 10).

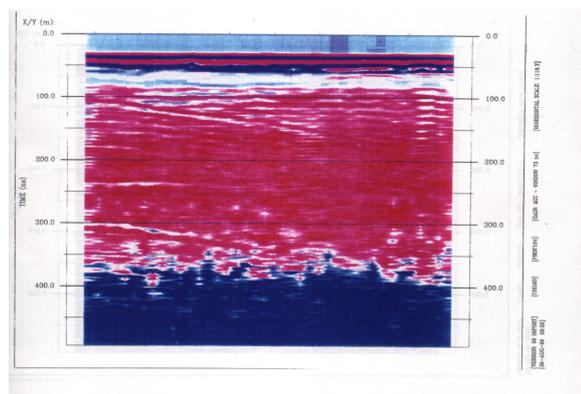


FIGURA 10 - Imagem do radargrama sem filtros com antenas de 1000MHz

A transformação do tempo de 400ns em profundidade de aproximadamente de 30m, juntamente com o conjunto de filtragens do sinal foi todo digitalizado como mostra a figura 11, em que foi

feitas a interpretação com a inversão e foi destacada a fratura subhorizontais de diferentes profundidades.

A representação do modelo de radiação de sensores ativos de ondas eletromagnéticas de radar no subsolo se efetua na forma de gráfico polar seguindo dois eixos, o que facilita a interpretação em duas dimensões. Atualmente já existe técnica de representação tridimensional utilizando aplicativos mais sofisticados.

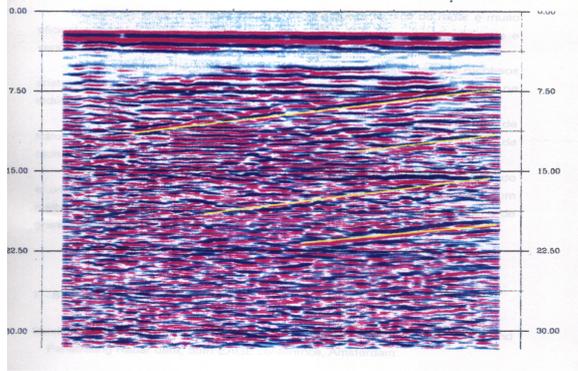


FIGURA 11 - Imagem do radargrama com identificação das fraturas e antenas de 100mhz

CONCLUSÕES

Evidentemente que o uso da geotecnologias não é a solução final para todos os tipos de problemas que podem ocorrer no caso da mineração de pedreiras. É uma ferramenta que também tem seus limites e particularmente é um instrumento que deverá, na medida do possível, ser incorporada nas fases e etapas de qualquer investimento bem planejamento.

No caso da Pedreira do Jacurutu houve um interesse de extrair o mineral e a Empresa esqueceu o compromisso com os efeitos ambientais na área.

A Empresa poderia ter realizado um estudo prévio em conjunto com o estudo geotecnológico e proposto um modelo que pudesse minimizar efeitos ambientais.

Fazendo o uso de ferramentas geotecnológicas e os aplicativos adequados o empreendedor ou o empresário evitar variáveis imprevistas como atingir cota negativa na base do Serrote. Por outro lado, pode redirecionar a frente de lavra com a análise da imagem de satélite, estabelecendo relação da parte explotada com as outras unidades naturais da área requerida, tornando o empreendimento viável a partir do compromisso e capacidade de grande porte com o Porto do Pecém, compatibilizando o uso com os interesses econômicos.

O importante é registrar que se encontra raro exemplo de geotecnologia aplicadas às pedreiras no estado do Ceará tanto com relação ao GIS como ao GPR, assim as geotecnologias só se tornaram

eficazes quando as políticas governamentais incorporaram o entendimento de que iniciativa desvinculada aos privilégios compensatórios de interesses econômico com impactos ambientais, são mais plausíveis.

Os impactos e efeitos para exploração de pedreiras estão relacionados entre outros, como paisagístico, erosão dos solos, curso de drenagens, desmatamento, sonoro, contaminação do lençol freático, social etc.

O trabalho mostrou que a geotecnologia de radar do GIS e GPR é muito eficiente tanto do ponto de vista prático-teórico, quanto de sua aplicabilidade e versatilidade, por definir disposição espacial das fraturas em frente de lavra, profundidade e geometria do embasamento indicando procedimentos mais seguros de exploração com menos risco ambiental e perdas de materiais.

O SIG permite uma visão macro da pedreira e suas relações com outras unidades naturais, enquanto que o GPR umas visão interna ou ultrasonografia para detecção de fraturas em maciços rochosos cristalino, desta forma o aproveitamento dessas geotecnologias é questão de custo e benefício.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE GUTIERREZ. Plano de lavra da Pedreira Jacurutu (s.n.t.)1996,2v.
- BOTELHO, M.A.B., and ALMEIDA, R.S., 1995, *3D reverse time migration of ground Penetrating Radar data*, 58th EAGE conference, Amsterdam.
- DAVIS, J.L., and ANNAN, A.P, 1989, *Ground-Penetrating radar for high-Resolution Mapping of soil e Rock stratigraphy, geophysical jprospecting*, 37,
- LILLESAND, T.M. & KIEFER (1991) *Remote sensing and image interpretation*. New York.
- Manual apostilas de cursos e "Guia em Português" do ENVI.
- Manual on-line, cursos e exercício do SPRING, disponíveis na Internet (www.dpi.inpe.br/spring).
- MORAIS, J.O. –*Geologia no Planejamento Ambiental* :Revista de Geologia 1991,vol.4 127 a 154.
- RADAMBRASIL - 1981A. Folha SA.24 - Fortaleza, *Levantamento de Recursos Naturais*, V. 21, MME. Rio de Janeiro.
- SALINAS, L.S, 1995, *Prospección del subsuelo mediante ondas rada. Fundamentso y principales aplicaciones em Ingenieria Geológica Departamento de Geoquímica, Petrologia y Prospección Geológica*. Universitat de Barcelona.
- TILLARD, S. 1994, *Radare experiments in isotropic and anisotrople geological formations (granite and schists)*, geophysics prospeetinge, 42, 615-636.

ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK:

INTEGRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE BASE DE DADOS DE PROSPECÇÃO DE GRANITOS E MIGMATITOS, EM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEO-REFERENCIADAS

José Carlos Sícoli Seoane¹, Liliana Sayuri Osako², Adejardo F. da Silva Filho², Edilton Santos², Vanildo A. Mendes³

¹ Departamento de Geologia, IGEO-CCMN-UFRJ - Av. Brigadeiro Trompowski, s/n - Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ - CEP: 21.940-940 - E-mail: cainho@rootsrock.com.br

² Departamento de Geologia/CTG/ UFPE – Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901

³ CPRM/SUREG-RE – Av. Sul, 2291 - Afogados – CEP 50.770-011 - Recife – PE .- E-mail: geremipe@fisepe.pe.gov.br

RESUMO

Com o objetivo de identificar novas ocorrências de granitos e migmatitos utilizáveis como rocha ornamental, é realizada em ambiente SIG a integração de dados originados nas etapas de prospecção (cartografia geológica, sensoriamento remoto, análise estrutural) e de caracterização tecnológica qualitativa e quantitativa das rochas prospectadas na região de Arcoverde-Garanhuns, interior do estado de Pernambuco. Os trabalhos foram subdivididos nas seguintes tarefas: **entrada, edição e correção geométrica** dos dados, e avaliação da base de dados e **quantificação do potencial de áreas selecionadas**, através de implementação de pontuação tecnológica estabelecida pela equipe.

Processamento digital: dados de sensoriamento remoto como imagens Landsat e cartas do Radambrasil e de aerogamaespectrometria foram utilizados. Após as necessárias correções geométricas e radiométricas foram executados realces, filtragens e combinações de bandas na imagem Landsat, bem como nas imagens geradas para os canais de Urânio, Tório e Potássio. A seguir foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens (PDI), de modo a ressaltar as características espectrais previamente estabelecidas para alvos passíveis de aproveitamento como rocha ornamental. A imagem de radar foi utilizada para análise de lineamentos, visando à compreensão da compartimentação estrutural da área e a densidade de fraturamento dos alvos de pesquisa.

Banco de dados: reúne dados espaciais de diversas origens, como imagens e suas interpretações, mapas temáticos de estruturas e geologia, bem como informações tabulares sobre os pontos amostrados, com diversas regiões de cobertura e escalas (desde 1:250.000 até 1:25.000) em ambiente SIG com sistema de projeção comum.

Quantificação do potencial de áreas selecionadas: operações com os dados gerados pelo projeto, visando caracterizar os aspectos geológicos e logísticos de alvos promissores. Foram atribuídos pontos aos granitóides identificados, levando em conta elementos de prospecção anotados para cada ponto amostrado quando do reconhecimento de campo, bem como para os dados dos ensaios realizados nestas amostras (inclusive cor, textura, estrutura, desgaste por abrasão, porosidade,

resistência, peso específico e alterabilidade, entre outros). As amostras, de caráter pontual, foram regionalizadas em unidades de características uniformes, através da análise dos mapas geológicos; também foram considerados fatores limitantes obtidos tanto em campo e laboratório (densidade de enclaves e veios, anisotropia de susceptibilidade magnética), como na interpretação de imagens (expressão areal dos corpos, densidade de lineamentos, uniformidade textural). Cada um destes temas constitui um plano de informações, sobre os quais são efetuadas as operações lógicas, que podem ser tanto algébricas (soma, razões entre planos de informação) quanto *booleanas* (simultaneidade, negativa, interseção entre planos de informação).

Comparação com avaliação analógica da base de dados: é demonstrada uma boa correlação da modelagem em SIG com a interpretação analógica dos mesmos fatores, embora esta última seja mais limitada por não ser possível re-atribuir pesos aos diversos parâmetros em análise. Novos corpos de rochas ornamentais passíveis de exploração são detectados na região norte da Folha Arcoverde 1:250.000.

INTRODUÇÃO

O Brasil exportou em 2000 cerca de US\$ 271 milhões em rochas ornamentais, aos quais se associam uma venda interna da ordem de quase US\$1.8 bilhões. O setor brasileiro de rochas ornamentais, quando incluídas comercialização de maquinário movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano (Marble Connection World, 2002a). Em 2001 foram exportados cerca de US\$ 280 milhões, uma alta de 3% em relação ao ano anterior (Chiodi Filho, 2002). O quadro é otimista, e estimativas da Abirochas indicam que as exportações do setor devem alcançar US\$ 355 milhões em 2002, o que representaria crescimento de 27% sobre o ano anterior. A expectativa é de que as vendas externas cresçam para US\$ 618 milhões até 2006 (Agencia Estado, 2002), sendo este número próximo à meta estabelecida pelo governo federal, de alcançar US\$ 600 milhões em exportações por ano (Marble Connection World, 2002b).

O estado de Pernambuco conta com nove indústrias, sendo que apenas quatro estão em plena atividade. Já no setor de beneficiamento, existem 20 teares ativos (Marble Connection World, 2002c). O Levantamento mais atualizado do Serviço Geológico

do Brasil (CPRM) indica a existência de 60 tipos de granito em Pernambuco. O trabalho foi realizado em 40 municípios do Agreste Meridional do estado, na região de Arcoverde-Garanhuns (Marble Connection World, 2002b, Figura 1). Trabalhos anteriores incluem o mapeamento realizado em 1982-1986 pela Minérios de Pernambuco S.A.. Este objetivou a identificação de granitóides com possibilidades de utilização como rocha ornamental, alavancando a produção do estado ao identificar 55 corpos passíveis de serem explorados, sendo 15 destes no Agreste Meridional. A avaliação conjunta da Agência de Desenvolvimento de Pernambuco S.A. (AD-DIPER) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) considera extraordinário o potencial desta região, embora ainda não suficientemente bem conhecido (Holanda *et al.*, 1987).

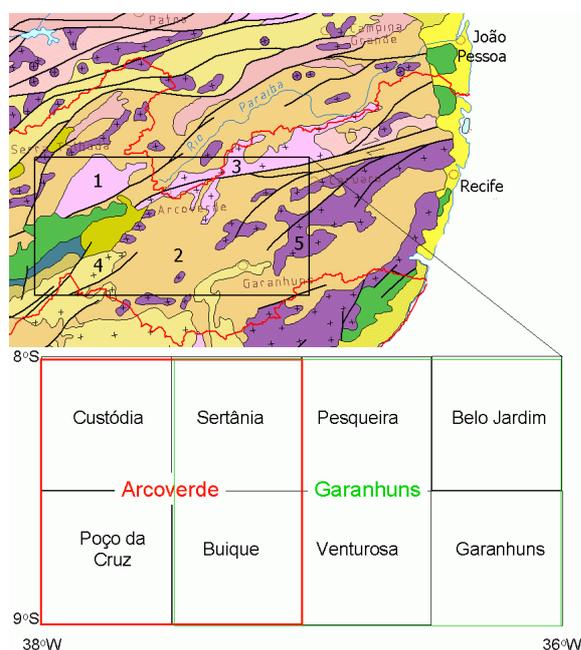


Figura 1: Localização da área e base de dados utilizados. Entre as principais litologias consideradas prospectáveis destacam-se o embasamento metamórfico (1 – Paleoproterozóico, 2 – Mesoproterozóico) e as rochas plutônicas ácidas e intermediárias (3 – Paleoproterozóicas, 4 – Mesoproterozóicas, 5 – Neoproterozóicas). Baseado no GIS do Mapa geológico do Brasil 1:5.000.000, CPRM (2001). Toda área está recoberta por cartas topográficas 1:100.000 e imagens de satélite, radar e geofísica.

Em preto: fotointerpretação geológica 1:100.000.

Verde: geologia e índice de atratividade (CPRM) 1:250.000.

Vermelho: mapa geológico inédito 1:250.000.

O Agreste Meridional conta com um pólo produtor de rochas ornamentais onde atualmente são extraídas oito variedades de granitos e migmatitos. Sete empresas estão instaladas neste pólo, gerando cerca de 250 empregos diretos e faturando anualmente cerca de US\$ 10 milhões, número ainda tímido se comparado a outros estados e ao potencial de Pernambuco. Entre os fatores que tornam a região

favorável à indústria de rochas ornamentais incluem-se a geologia, com extensa área constituída por granitóides e migmatitos diversos, e a infra-estrutura adequada, com acessos asfaltados, ramais ferroviários, eletrificação, e distância de no máximo 250 km dos portos de Recife e Suape. O crescimento do setor no estado tem portanto o potencial de gerar novos empregos e mesmo baixar o custo final de obras civis, sendo ainda perfeitamente adaptado às características fisiográficas da região, ao depender muito pouco de água.

Os Sistemas de Informação Georeferenciada (SIG) por sua vez, vem trazer soluções de grande valia na integração e avaliação da enorme quantidade de informações e dados produzidos pela prospecção ora em andamento, encurtando e barateando as tradicionais etapas para descoberta de um jazimento mineral, ao descrever e analisar relações, para fazer previsões, através do uso de modelos. Tais sistemas levam em consideração a topologia dos dados, isto é, as suas características e relações espaciais descritas matematicamente, independentes de escala, tornando exequível a produção de novos planos de informação resultantes do cruzamento de dados espaciais de origens diversas, tais como mapeamento geológico, coleta e análise de amostras, imagens orbitais, etc.

OBJETIVO

Identificação na área de estudo de novas ocorrências de granitos e migmatitos utilizáveis como rocha ornamental, através da prospecção (cartografia geológica, sensoriamento remoto, análise estrutural) e caracterização tecnológica qualitativa e quantitativa das rochas prospectadas.

Entre as tarefas a serem realizadas destacam-se a entrada, edição e correção geométrica dos dados e a avaliação da base de dados e quantificação do potencial de áreas selecionadas. A iteração entre os profissionais envolvidos nas diversas etapas é considerada essencial nesta fase de quantificação, quando, através de implementação em ambiente SIG, a pontuação tecnológica é estabelecida conjuntamente com os demais pesquisadores.

DADOS E METODOLOGIA UTILIZADOS

Toda área está recoberta por cartas topográficas 1:100.000, imagens de satélite Landsat (cena 215-66, de 12/98), de radar do Projeto Radambrasil (mosaico das cartas sc24xa e sc24xb do Radam, de 1976, em escala 1:250.000, escanizadas pelo convênio Adimb-DNPM) e radiometria do Projeto Cariris Velhos (CPRM, 1977, com linhas espaçadas de 2Km x 125m), conforme sumarizado na Figura 1.

Além destes, fotointerpretação geológica 1:60.000, e um recente mapa com a geologia e o índice de atratividade econômico-geológico da Folha de Garanhus 1:250.000 foi disponibilizado pela CPRM. A estes se soma um mapa geológico inédito, em escala 1:250.000, produzido pela Divisão de

Geologia da SUDENE, intitulado *Geologia da Folha Arcoverde* (Figura 1).

As etapas de trabalho envolvem basicamente três itens. Na etapa inicial, de *Processamento digital*, após as necessárias correções geométricas e radiométricas foi efetuada a mosaicagem de cada tipo de imagem que recobre a região estudada. A seguir foram executados realces, filtragens e combinações de bandas na imagem Landsat, de modo a ressaltar as características espectrais previamente estabelecidas para alvos passíveis de aproveitamento como rocha ornamental. Os dados geofísicos foram transformados em arquivos de tabelas a partir dos arquivos de pontos fornecidos pela CPRM no formato *ascii*, e posteriormente foram geradas superfícies contínuas, na forma de imagens geradas para os canais de Urânio, Tório e Potássio. A imagem de radar foi utilizada para análise de lineamentos, visando à compreensão da compartimentação estrutural da área e a densidade de fraturamento dos alvos de pesquisa. O *software* utilizado nesta tarefa é o ER-MAPPER 6.1, disponível no DGEO – UFPE, e os mapas temáticos gerados serviram para alimentar o banco de dados.

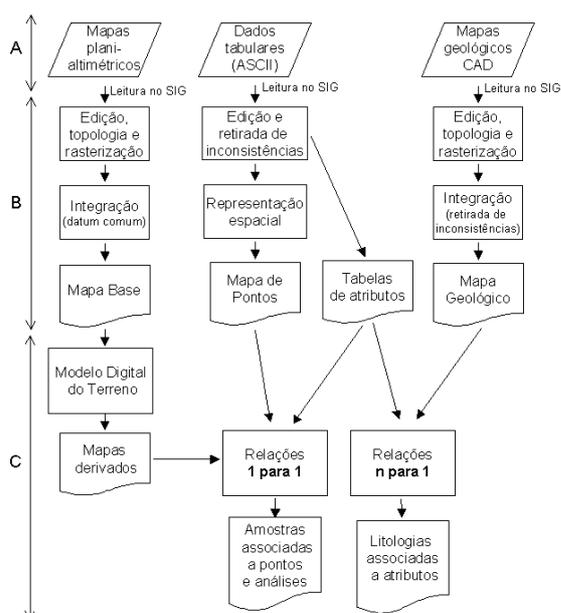


Figura 2: Fluxograma para as etapas de SIG: Dados (A) são capturados no sistema (às vezes são necessários arquivos intermediários), convertidos, editados e acrescentada a topologia (B, com produtos intermediários). A seguir no pré-tratamento (C) são geradas novas relações entre os dados originais.

A segunda etapa se encontra resumida na Figura 2, e inclui a *Geração do banco de dados*, que visa reunir dados espaciais de diversas origens, como imagens e suas interpretações, mapas temáticos de estruturas e geologia, bem como informações tabulares sobre os pontos amostrados, petrografia, e ensaios de caracterização, com recobrimento diferenciado e não uniforme da região nas diversas escalas (desde 1:250.000, na escala inicial do trabalho a até 1:25.000, em porções selecionadas

para detalhamento), em ambiente SIG com sistema de projeção comum, sendo utilizadas coordenadas geográficas. Dados em formato analógico foram digitalizados através do uso combinado de *scanner* de grande porte (A0, para minimizar distorções e necessidade de mosaicagem) e vetorização na tela do microcomputador (*heads-up*). Os *softwares* utilizados nesta tarefa são o MS-EXCEL, para dados tabulares, e os *softwares* SPRING e ARCVIEW, de SIG, bem como outros de desenho e cartografia, também disponíveis no DGEO – UFPE.

Finalmente, na etapa de *Quantificação do potencial de áreas selecionadas*, são realizadas operações com os dados gerados pelo projeto, visando caracterizar os aspectos geológicos e logísticos de alvos promissores. Foram atribuídos pontos aos granitóides identificados, levando em conta elementos de prospecção anotados para cada ponto amostrado quando do reconhecimento de campo, bem como para os dados dos ensaios realizados nestas amostras (inclusive cor, textura, estrutura, desgaste por abrasão, porosidade, resistência, peso específico e alterabilidade, entre outros). As amostras, de caráter pontual, foram regionalizadas em unidades de características uniformes, através da análise dos mapas geológicos; também foram considerados fatores limitantes obtidos tanto em campo e laboratório (densidade de enclaves e veios, anisotropia de susceptibilidade magnética), como na interpretação de imagens (expressão areal dos corpos, densidade de lineamentos, uniformidade textural). Cada um destes temas constitui um plano de informações, sobre os quais são efetuadas as operações lógicas, que podem ser tanto algébricas (soma, razões entre planos de informação) quanto *booleanas* (simultaneidade, negativa, interseção entre planos de informação). Nesta etapa também foi utilizado o *software* ARCVIEW.

RESULTADOS: INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL, RADAR E GAMAESPECTROMETRIA AEROPORTADOS

Não foi possível identificar *a priori* assinaturas espectrais em imagens de Landsat e gamaespectrometria dos granitóides já explorados comercialmente, ou de reconhecido potencial devido à escala de trabalho. Assim, a imagem foi utilizada para auxiliar na delimitação de contatos geológicos regionais e, posteriormente, de novos corpos de características semelhantes, no extremo Oeste da região. Para tanto foram utilizadas composições R4-G3-B1, e R7-G4-B1 sobre Modelo Digital do Terreno (MDT), como ilustrado na Figura 3, onde se observa a altimetria da Folha Venturosa IBGE, em escala 1:100.000).

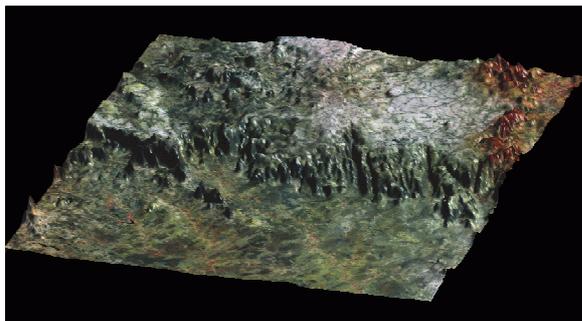


Figura 3: Composição R4-G3-B1 sobre Modelo Digital do Terreno (MDT), gerado a partir da altimetria da Folha Venturosa IBGE, em escala 1:100.000).

Da mesma maneira, os canais de Urânio, Tório e Potássio servem como auxiliares no mapeamento de litologias, em que pese o espaçamento de 2 Km entre linhas. Este limita a utilização destes dados à análise regional, já que diversos corpos prospectáveis poderiam se encontrar entre duas linhas, não sendo imageados. Ainda assim, estes dados são extremamente valiosos ao auxiliarem ao mapeamento da tendência de ocorrência de certos litotipos em extensões de áreas onde são conhecidos.

A análise da densidade e padrão de fotolineamentos foi efetuada conjugando-se a Imagem Radam sobre os MDT, como no exemplo da Figura 4.

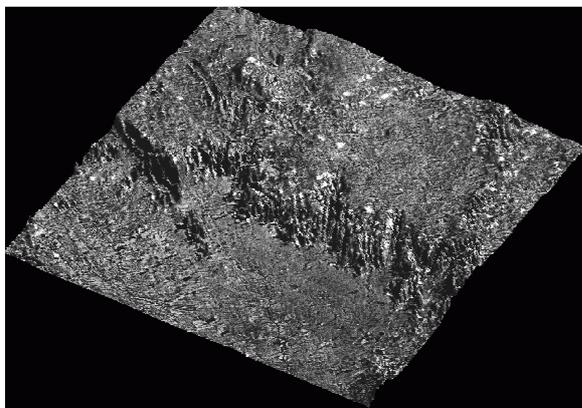


Figura 4: Análise da densidade e padrão de fotolineamentos, efetuada conjugando-se a Imagem Radam sobre os MDT.

QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DA ÁREA: IAEG APLICADO AO MAPA DE PONTOS

A ocorrência de rochas ornamentais é condicionada por fatores litológicos. A primeira dificuldade no processo de regionalização de amostras consiste em extrapolar seu caráter pontual para unidades de características uniformes, o que é realizado através da análise e integração dos mapas geológicos. No presente trabalho as rochas foram selecionadas, com base em critérios mercadológicos, em materiais nobres passíveis de exportação e tipos comuns, com amplas possibilidades de negociação

na forma de blocos brutos ou de material beneficiado no mercado interno de chapas e padronizados. Em consequência, as ocorrências e demais jazimentos cadastrados foram agrupados em função do critério de mercado e correlacionados com o arcabouço geológico existente, com o intuito de mostrar em planta os tipos de rochas passíveis de serem detectados na região. A seguir, é tentada uma caracterização dos aspectos geológicos e logísticos de alvos promissores, através do estabelecimento de um *Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG)*, com a atribuição de pontos aos granitóides identificados.

Foram computados, segundo a metodologia proposta pela CPRM, tanto fatores advindos do reconhecimento de campo, como modo de ocorrência, e dados de infra-estrutura (água, luz, telecomunicações, acesso, mão de obra) como os dados dos ensaios tecnológicos tais como cor, textura, homogeneidade, estrutura, fraturamento, dureza, nobreza (posicionamento da rocha no mercado). Cada fator, resumido na Tabela 1, constitui

Tabela 1: Quantificação do potencial da área através do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG). Os atributos dos pontos de campo com dados correspondentes às amostras coletadas e características dos afloramentos (esquerda), que são associados aos fatores de atratividade (direita), para obter a classificação dos pontos e posteriormente integra-los, tendo por base o mapa geológico CPRM.

FATOR DE NOBREZA	Valores do FN
Exportação, em blocos e chapas	20
Mercado interno, em blocos	18
Exportação / Mercado interno, em chapas ou padronizados	15 a 14
Mercado interno, chapas e padronizados	12 a 10
Mercado interno apenas de chapas	5
Mercado interno de padronizados	0
Fator Cor (predominante)	Valores do FC
Azul	17
Branca e amarela	14
Verde ou marrom	14
Vermelha ou rosa movimentadas	10
Salmão	7
Vermelha	6
Rosa	6
Fator Densidade do Fraturamento	Valores do FF
Baixa (extração de blocos p/ teares)	10
Média (extração de blocos p/ talha bloco)	8
Alta	5
Muito alta	4
Altíssima	0
Fator Textura (Predominante)	Valores do FT
Equigranular e porfírica	
Porfírica serial a equigranular e lamelar	0 a 10
FATOR HOMOGENEIDADE	Valores do FH
(Densidade de Veios, Xenólitos e Oxidações)	
Alta, Média, Baixa	0 a 10
FATOR ESTRUTURA – FE	Valores do FE
Dobradas ou movimentadas	10

Orientada	5
Maciça	0
FATOR MODO DE OCORRÊNCIA	Valores do FM
Maciço + matacões	8
Maciço	6
Matacões grandes	5
Matacões menores	4
FATOR INFRA-ESTRUTURA - FI	Valores do FI
< 10 km, infra-estrutura completa	8
Entre 10 e 20 km	6
Distância maior do que 20 km	5
Fator Dureza – FD	Valores do FD
Mármore (dureza baixa)	7
Sienitóide (dureza média)	6
Granitóide (dureza alta)	5
Quartzito (dureza muito alta)	2

IAEG	Muito Alto	80 a 100
	Alto	70 a 80
	Médio	60 a 70
	Baixo	40 a 60

um dos planos de informação, sobre os quais são efetuadas operações lógicas algébricas (soma, razões) e *booleanas* (simultaneidade, negativa). Valores numéricos são ajustados empiricamente de maneira a estabelecer uma lista de prioridades. Valores mais elevados coincidem com os tipos rochosos passíveis de negociação no mercado externo, fator importante para a seleção de corpos, indicando oportunidades de detalhamento de pesquisa direcionada ao aproveitamento das rochas para fins ornamentais.

O mapa geológico da Folha Arcoverde, já em meio digital, foi comparado ao mapa da Folha de Garanhuns (CPRM, 2002) e as informações da área em comum, correspondente as folhas 1:100.000 de Sertânia e Buíque, foram utilizadas para validar e extrapolar a aplicação do método do IAEG no mapa da Folha de Arcoverde (Figura 5). O resultado é apresentado na Figura 6.

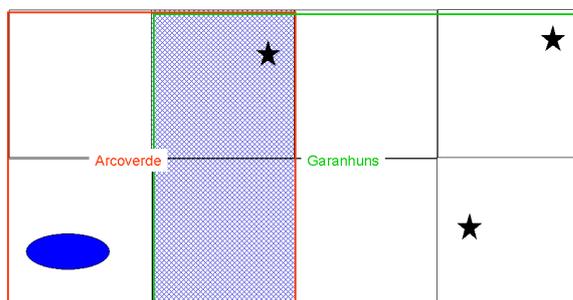


Figura 5: Folha Garanhuns 1:250.000, (CPRM, 2002, em verde), com litologias classificadas com alto IAEG, representadas esquematicamente por estrelas, como ponto de partida. A seguir é feita a comparação e uniformização de dados com Folha Arcoverde (1:250.000, inédita, em vermelho), utilizando-se a área em comum (hachurada), para seleção de trends anômalos, prospectáveis para rochas ornamentais (em azul).

COMPARAÇÃO ENTRE IAEG E GAMAESPECTROMETRIA, LINEAMENTOS DE RADAR E TM

Conforme anteriormente observado, não há boa correlação entre os dados de sensoriamento remoto, aerogamaespectrometria e imagem de radar e áreas com maior pontuação IAEG, como por exemplo os sienitos da região de Toritama (Figura 7). Esta ausência de um padrão diagnóstico distinto deve ser creditada ao grande espaçamento entre linhas, não permitindo o mapeamento individualizado de pequenos corpos ígneos.

A comparação entre as duas regiões estudadas permite ainda observar as diferenças entre a avaliação analógica da base de dados (Folha de Garanhuns) e digital (Folha Arcoverde), onde se destacam a razoável correlação da modelagem em SIG com a interpretação analógica dos mesmos fatores. No entanto, a interpretação analógica é mais limitada devido à dificuldade de se reatribuir pesos aos diversos fatores analisados. Por outro lado, o meio digital expõe inconsistências entre mapa de pontos e base geológica 1:250.000 da CPRM, embora, simultaneamente, facilite a correção e atualização da base de dados.

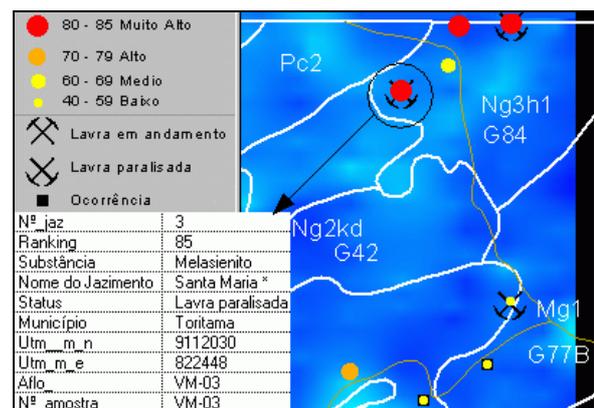


Figura 7: Pontos com IAEG entre 85 (vermelho, em destaque) e 67 (amarelo) recaem sobre litologias com IAEG estimado 84 pelo mapeamento da folha Garanhuns (CPRM, 2002), enquanto que ponto com IAEG 58 (amarelo) recai sobre litologias com IAEG estimado 77. Os dados, da região de Toritama, uma das principais produtoras de rochas ornamentais, estão apresentados sobre mapa de Tório (gerado a partir dos levantamentos Cariris Velhos, CPRM, 1977). Notar ausência de padrão diagnóstico nesta localidade.

CONCLUSÕES

A combinação de diversos planos de informação para obter modelo explicativo é conhecida como *modelamento*. Aqui, trata-se de, a partir do cadastro de ocorrência de rochas ornamentais, buscar novas áreas de ocorrência passíveis de serem exploradas, utilizando todos os planos de informação disponíveis, ou seja, diversos mapeamentos geológicos, interpretação dos dados de gamaespectrometria, sensoriamento remoto,

fotografias aéreas, topografia e fotoloteamentos de imagem de radar, nas áreas de ocorrências conhecidas (alto IAEG), para buscar selecionar *trends*, com dois níveis de prioridades.

Como critérios de seleção (cumulativos), foram utilizados:

- Radar: áreas com baixa densidade de fotoloteamentos retilíneos, representando estruturas rúpteis.

- Gamaespectrometria: valores intermediários de Th e U.
- Geologia: litologias semelhantes às das ocorrências conhecidas, em locais onde predominam processos dúcteis.
- Geomorfologia / MDT: relevo não arrasado, que facilita a exploração. Na área, em geral, ocorre associado à proximidade de cristas de quartzito.

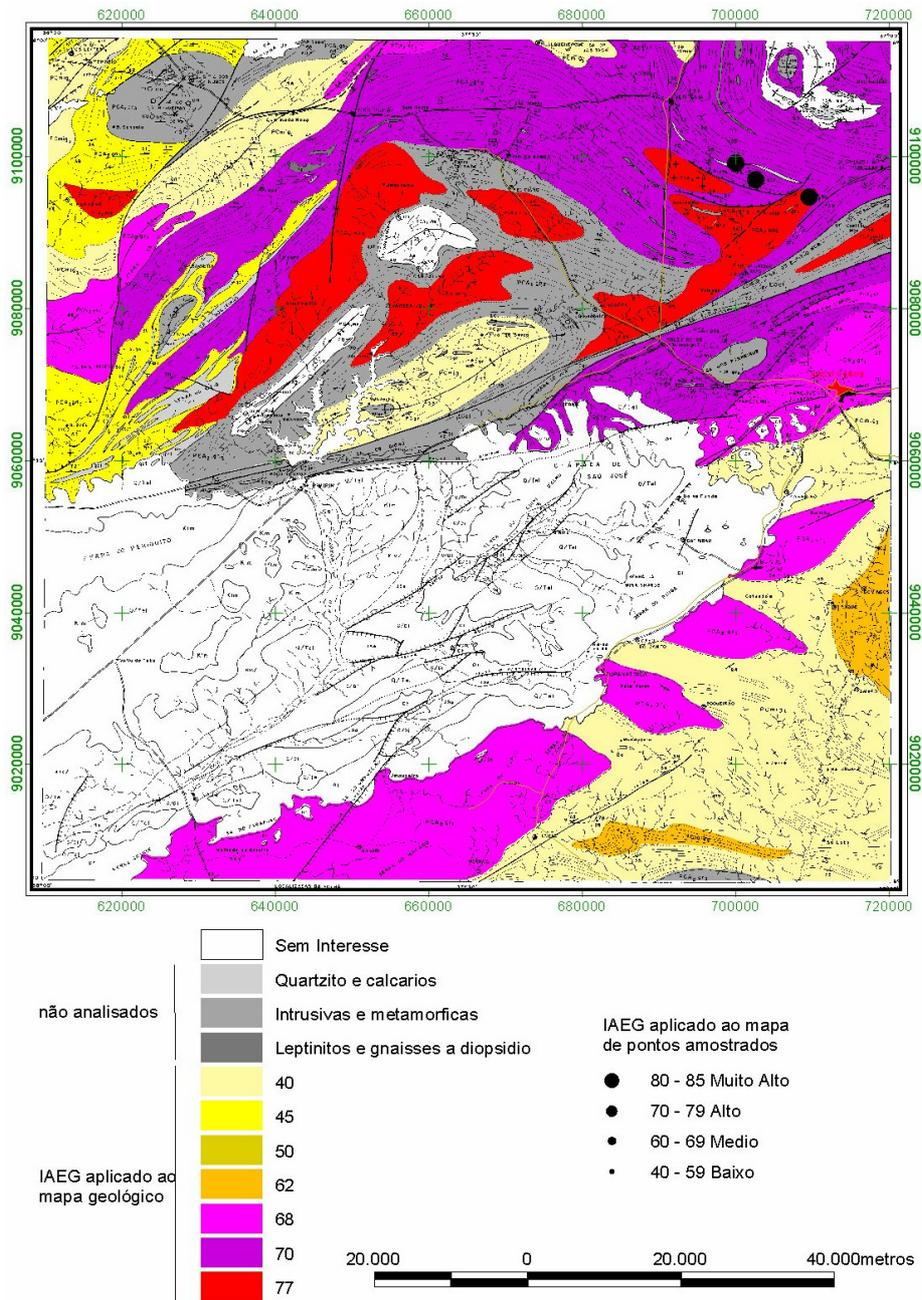


Figura 6: Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) aplicado ao mapa de geologia da Folha Arcoverde, a partir da correlação de dados com o mapa geológico da Folha de Garanhuns (CPRM, 2002), ao qual se sobrepõe parcialmente – vide Figura 5

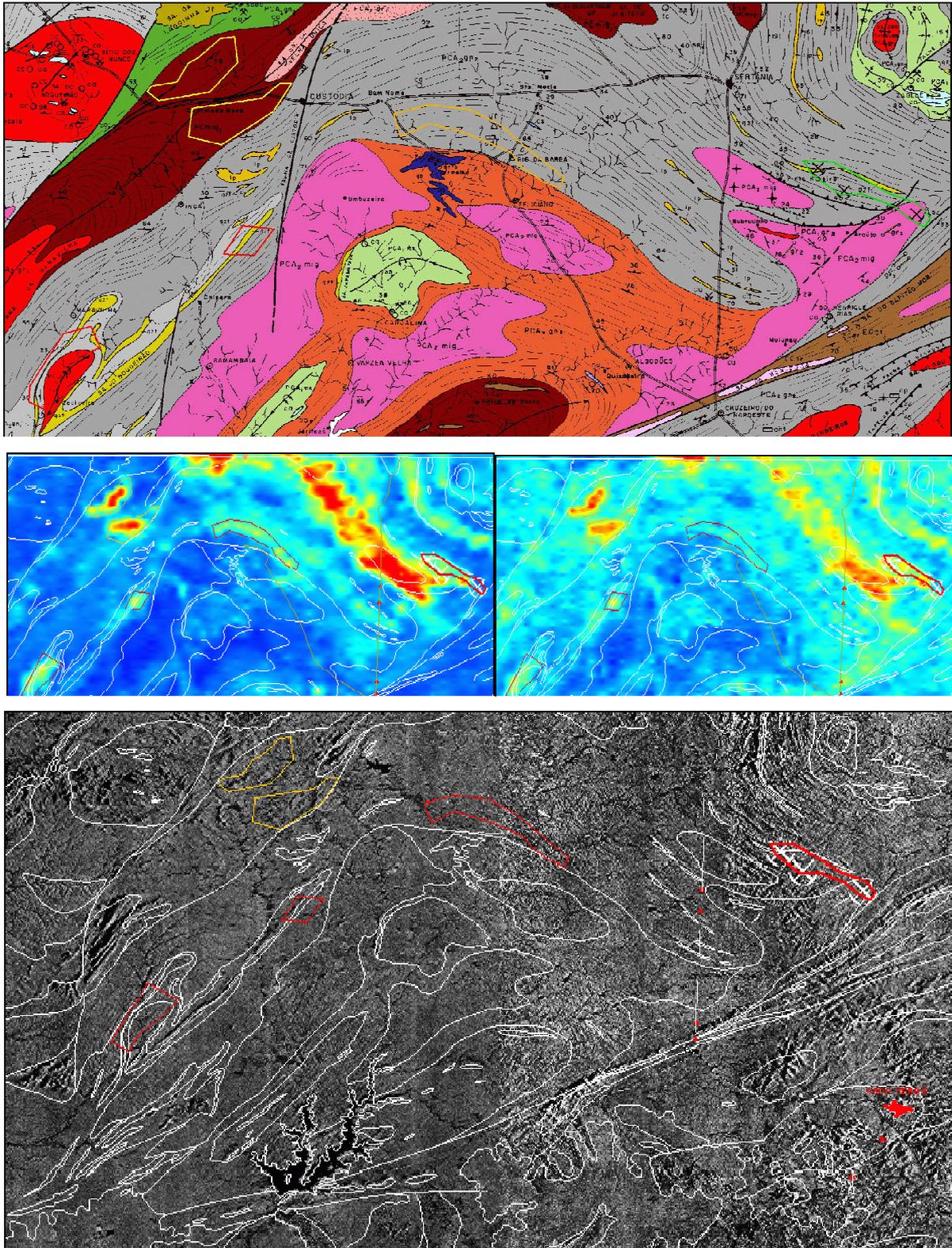


Figura 8: Alto da página: Geologia Arcoverde: ocorrências conhecidas e anomalias selecionadas. Área apresentada corresponde à porção norte da Figura 6. Região anômala conhecida em verde, anomalias a pesquisar em vermelho (primeira prioridade) e alaranjado (segunda prioridade), segundo somatório dos critérios adotados. Meio, à esquerda: Mapa de distribuição de tório, com contatos litológicos em branco. Vários pontos tem padrão similar às ocorrências conhecidas, distribuídos ao longo de trends. Meio, à direita: Mapa de distribuição de urânio, contatos litológicos em branco. Como no caso do tório, vários pontos tem padrão similar às ocorrências conhecidas ao longo de trends, embora com valores mais altos. Abaixo: imagem de radar, destacando os padrões estruturais.

As principais anomalias selecionadas na Folha Arcoverde estão apresentadas na Figura 8, onde se observa a boa correlação com as áreas selecionadas por comparação das litologias desta com a Folha Garanhuns (Figura 6).

<http://www.marble.com.br/article/view/174>. Data de publicação: 23.09.2002 16:37. Acesso em 08/10/2002.

Este trabalho portanto gera novas possibilidades de alavancar a produção de rochas ornamentais no estado de Pernambuco, ao caracterizar a geologia da Região de Arcoverde como propensa a ocorrência destes bens minerais e indicar à iniciativa privada prioridades de pesquisa na região.

AGRADECIMENTOS

À CPRM pelo fornecimento de dados de campo, por vezes inéditos, e em especial a Adeilson Wanderley e Ivo Pessato pelas discussões dos temas. JCSS obteve bolsa de pesquisa de desenvolvimento científico regional do CNPq, processo 300328/2000-1, executada no Grupo de Geotectônica e Geoquímica Aplicadas (GEG-Dgeo-UFPE), a quem agradece pela agradável acolhida e convivência. LSO é bolsista de doutoramento do CNPq. VM agradece à CPRM pela permissão para divulgação do trabalho. O projeto é financiado pela FINEP/PADCT (88.98.0745.00) e CNPq.

BIBLIOGRAFIA

Agencia Estado, Cadernos Setoriais, Mineração e Metalurgia. 2002. Rochas Ornamentais. <http://www.aesetorial.com.br/ext/cadernos/mineracao/tecnologia3.htm>. Acesso em 08/10/2002.

Chiodi Filho, C. 2002. Exportações brasileiras capixabas do setor. http://www.revistapedras.com.br/edicao_06/artigo.htm. Acesso em 05/10/2002.

CPRM. 2001. GIS do Mapa geológico do Brasil 1:5.000.000. CD

Holanda, C. J. N.; Cunha, A. C. da; Silva, F. A. F. 1987. Catálogo dos Granitos de Pernambuco – Rochas para Revestimento. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Indústria Comércio e Minas. Minérios de Pernambuco S. A. Recife, 115p.

Marble Connection World, 2002a. Caracterização Comercial das Rochas Ornamentais no mercado internacional. <http://www.marble.com.br/article/view/77>. Data de publicação: 23.08.2002 11:00. Acesso em 08/10/2002.

Marble Connection World, 2002b. Estado de Pernambuco tem 60 tipos de granito. <http://www.marble.com.br/article/view/147>. Data de publicação: 05.09.2002 17:39. Acesso em 08/10/2002.

Marble Connection World, 2002c. Sindicatos avaliam o setor de rochas ornamentais.

PROJETO PEDREIRA-ESCOLA: CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA PARA COMPETITIVIDADE

Adriano Caranassios¹, Francisco W. Hollanda Vidal¹, Gildo de A. Sá Cavalcanti de Albuquerque¹, Hélio C. A. de Azevedo² e Núria Fernández Castro¹

¹CETEM/MCT – Av. Ipê, 900 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – 21.941-590 – Rio de Janeiro – RJ – E-mail: fwh@electus.com.br; gildosa@cetem.gov.br; ncastro@cetem.gov.br

²CBPM – 4ª Avenida, 460 – CAB – CEP 41.745-000 – Salvador - BA

Fone: (71)370-7510 – Fax: (71)370-7548 – E-mail: hazevedo@cbpm.com.br

RESUMO

O presente trabalho relata a experiência de implantação da primeira pedreira-escola ibero-americana no Município de Ruy Barbosa, Bahia. Trata-se de um projeto iniciado em abril de 2001, que objetiva promover a formação, treinamento e aperfeiçoamento de mão-de-obra operacional, gerencial e empresarial, bem como a pesquisa geológica e o desenvolvimento tecnológico visando o segmento de extração de rochas ornamentais. É um projeto do Governo do Estado da Bahia, através da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM/Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração - SICM, em parceria com o Governo Federal, através do Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência e Tecnologia – CETEM/MCT e apoio da Secretaria de Minas e Metalurgia do Ministério de Minas e Energia – SMM/MME, através do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, e do SIMAGRAN-BA com suporte internacional do programa CYTED – *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*. Em agosto de 2002 foi inaugurada a sede da escola e até dezembro do mesmo ano será finalizada a preparação da pedreira (acessos, áreas de estocagem e movimentação de blocos e rejeitos, instalações auxiliares e abertura da primeira frente de lavra) em uma jazida cedida pela Mineração Corcovado. O material a ser produzido na pedreira é denominado granito *Beija-Flor*, e trata-se de uma rocha migmatítica que possui uma boa penetração no mercado. Nesses locais acontecerão a demonstração e aprendizado prático de técnicas de pesquisa de jazidas, extração de blocos, estendendo-se até a comercialização do produto final, incluindo neste contexto o mapeamento de detalhe da jazida, a abertura e o desenvolvimento de frentes de lavra, a operação e manutenção de equipamentos, demonstração de novas tecnologias, além da segurança e higiene no trabalho e dos aspectos ambientais. Espera-se que esta pedreira sirva de modelo para outras não apenas no Brasil mas, também, em outros países ibero-americanos. Os treinamentos de uso de equipamentos terão início ainda em 2002, tendo a escola parcerias com diversos fabricantes para o desenvolvimento dos mesmos e a partir de 2003 será implementado o restante dos cursos.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais e teve em 2001 uma produção de 5,2 milhões de toneladas, com cerca de 500 variedades comerciais. A maior parte dessa produção está localizada na região sudeste do país, principalmente nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, com uma indústria mais desenvolvida para o setor. Destaca-se, ainda, pelas suas imensas reservas e pela variedade e beleza cromática de seus materiais, especialmente granitos. O Estado da Bahia está passando também a ser um dos grandes produtores nacionais. Nestes últimos 11 anos, o continuado apoio do governo do estado ao setor, atuando em parceria com as empresas produtoras, levou a Bahia a ocupar o 3º lugar na produção nacional de granitos e a se firmar como um dos principais exportadores do país. De fato, dois terços do seu território de 560 mil km² são extremamente favoráveis à prospecção e pesquisa de granitos, o que, aliado ao bom nível de conhecimento geológico disponível, às boas condições de infra-estrutura básica e à diversidade de rochas e de tipos comerciais em produção, tornam a Bahia um local atraente para investimentos neste setor.

De modo diferente ao que ocorre nos outros estados, de destacada importância no setor de rochas ornamentais, em particular o estado do Espírito Santo, os indicadores oficiais registram um pequeno número de empresas de beneficiamento de mármore e granitos atuando no estado, e um número modesto de teares e talha-blocos (inferior a 60), demonstrando, dessa forma, ser a Bahia um mero produtor e exportador de blocos brutos, e ainda assim em quantidades muito aquém das possíveis, pela capacidade de extração das empresas operantes e pela potencialidade geológica existente. Esse panorama é aplicável a muitos outros estados do Brasil, não apenas ao da Bahia.

As causas desse panorama são variadas e vão desde a falta de investimentos privados às carências de tecnologia de pesquisa geológica e de desenvolvimento tecnológico, à falta de conhecimentos das atividades de mineração e pesquisas específicas sobre as técnicas de lavra aplicáveis às rochas ornamentais, à falta de utilização de equipamentos modernos e, especificamente, à falta de mão-de-obra qualificada, operacional, gerencial e até mesmo empresarial para o setor.

Em face desse diagnóstico e visando o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais, deu-se início a este ambicioso **Projeto Pedreira-**

Escola. Impulsionado pelo Governo do Estado da Bahia, através da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral -CBPM e apoiado pelo Governo Federal, através do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e a Secretaria de Minas e Energia (através de convênio do CETEM com o DNPM), conta também com o suporte internacional do programa CYTED – *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.*

Objetivos

Gerais:

- Promover a formação, treinamento e aperfeiçoamento de mão-de-obra operativa, pesquisadora, gerencial e empresarial para o segmento de exploração das rochas ornamentais do estado da Bahia e outros estados do Brasil;
- Disponibilizar e demonstrar:
 - técnicas de pesquisa de jazidas de granito para fins de exploração;
 - técnicas de planejamento, implantação, desenvolvimento de pedreiras e de operação e manutenção de equipamentos;
 - metodologias e tecnologias de lavra e técnicas de acabamento de blocos brutos; e
 - avanços tecnológicos na geologia de exploração e na extração de rochas ornamentais.
- Disponibilizar para o segmento empresarial produtivo, principalmente, para os fabricantes de equipamentos (nacionais e/ou estrangeiros) locais para demonstrações práticas visando a realização de testes e avaliações do emprego e da eficiência dos equipamentos de extração de rochas ornamentais;
- Difundir, entre o segmento empresarial do setor, no estado e no país, os conhecimentos básicos, operativos e de desempenho nas etapas de pesquisa, implantação, desenvolvimento e gerenciamento de uma *pedreira modelo* de granito;
- Disponibilizar aos centros de pesquisa e de ensino de nível médio e superior do país um local para desenvolvimento de pesquisas e de equipamentos, análises e estudos de técnicas de lavra e aprendizado prático em geral; e
- Disponibilizar para a iniciativa privada e entidades governamentais orientação técnica sobre formas e alternativas para o aproveitamento dos rejeitos da lavra das pedreiras, possibilitando a implantação de unidades produtoras de artefatos, permitindo assim a ampliação da geração de renda e empregos, no entorno dos centros produtores de rochas ornamentais do estado e do país.

Específicos:

- Implantar e operar pedreiras-escola modelos, de granito e/ou mármore, em locais pré-selecionados no território nacional;
- Disponibilizar treinamentos para operários, gerentes, capatazes, técnicos de nível médio e superior e, empresários do setor de extração de rochas ornamentais, nas técnicas operativas de equipamentos, nas técnicas e processos de lavra, nas atividades gerenciais e administrativas de uma pedreira, em segurança e saúde do trabalho e na área de preservação ambiental;
- Exercitar, através de equipe própria e de estagiários, as atividades administrativas, comerciais, gerenciais da exploração de uma pedreira, incluindo-se aí as atividades de higiene, saúde e segurança do trabalho e de preservação ambiental de pedreiras de granito e mármore;
- Disponibilizar aos técnicos que estudam as rochas ornamentais, em centros de pesquisa, escolas técnicas e em universidades do país, um local para estágios, treinamentos e desenvolvimento de pesquisa e aprendizado prático em geral; e
- Inserir, principalmente junto às pequenas e médias empresas do setor, conceitos de C & T & I que lhes permitam ampliar sua competitividade, incrementar sua produção e angariar novos mercados.

Características Gerais

A Pedreira-Escola, que está sendo implantada pelo Governo do Estado da Bahia, com o apoio do Governo Federal, da iniciativa privada, de centros de pesquisas tecnológicas, e de entidades nacionais e internacionais, privadas e institucionais, deverá:

Ser administrada como uma empresa extratora e comercializadora de blocos brutos, ter uma equipe operativa fixa, gerencial e administrativa, mínima, e um corpo de instrutores eventuais.

Vivenciar, de acordo com seus objetivos, as seguintes linhas de atuação:

- *Formação e treinamento de mão-de-obra operativa, empresarial e técnica;*
- *Desenvolvimento, pesquisa e transferência de tecnologias;*
- *Demonstração de inovações em equipamentos, insumos e técnicas de extração.*

Em sua fase inicial, a Pedreira-Escola será um projeto técnico no âmbito da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral-CBPM e do Centro de Tecnologia Mineral-CETEM (Ministério da Ciência e da Tecnologia). Após a sua implantação e/ou consolidação, será gerida como uma entidade, funcional e juridicamente independente, sem fins

lucrativos, buscando porém, no máximo do possível, a auto-sustentação.

A primeira frente de lavra do Projeto Pedreira-Escola está sendo implantada em uma área de produção de granito ornamental cuja denominação comercial é *Granito Beija-Flor*, situada no município de Ruy Barbosa, especialmente cedida pela Mineração Corcovado. Além dessa área, há previsão de utilização de outras frentes de lavra, de granitos e/ou mármore, em áreas cedidas pela CBPM ou pela iniciativa privada.

Os recursos para a implantação da Pedreira-Escola advêm inicialmente do governo do Estado da Bahia e de parceiros institucionais das áreas federal e estadual, prevendo-se ainda a possibilidade de participação do setor privado (empresas e fabricantes de equipamentos) e de cooperação com programas nacionais e/ou internacionais de financiamento e de transferência tecnológica. *A priori*, os recursos necessários à sua operação e manutenção deverão vir das áreas governamentais, de programas institucionais de formação e treinamento de mão-de-obra e de receitas da venda de seus produtos.

Os cursos e treinamentos serão cíclicos, práticos e de curta duração. O objetivo principal dos mesmos é a formação e o aperfeiçoamento de mão-de-obra, operária, executiva e gerencial, além da formação e atualização empresarial e, em princípio, abrangerão as seguintes áreas:

- Pesquisa geológica, planejamento e estudos de viabilidade técnica e econômica de implantação de pedreiras;
- Planejamento e desenvolvimento de lavra;
- Desenvolvimento tecnológico;
- Tecnologias de extração de granitos;
- Operação e manutenção de equipamentos;
- Aparelhamento, manuseio e transporte de blocos;
- Administração e gerência de pedreiras;
- Mecanismo de formação de preço e comercialização;
- Saúde e segurança no trabalho; e
- Legislação, controle e recuperação ambiental.

A seguir, apresenta-se o plano esquemático de treinamentos de capacitação que a Pedreira-Escola buscará desenvolver no triênio 2002/2005. Por este planejamento, cuja implementação será gradual, ao término do triênio, o projeto estará disponibilizando anualmente 108 eventos de treinamento, num total de 912 vagas.

Nesta etapa inicial, a Pedreira-Escola conta com alguns equipamentos e veículos básicos próprios (compressores, sonda, martelos pneumáticos, flame-jet, máquina de fio diamantado, caminhão guincho, etc.). Outros opcionais ou representativos de investimentos vultosos (pá carregadeira, trator, etc.) serão alugados e/ou poderão ser disponibilizados pelos fabricantes de equipamentos nacionais e/ou internacionais, durante as fases de treinamento e de demonstração.

Contará com **equipe fixa** mínima, composta de gerente geral e de produção, chefe da pedreira, operários de campo, técnico de segurança de trabalho, auxiliar administrativo, mecânico, eletricista, motorista e auxiliares de serviços gerais, e uma **equipe periódica** de instrutores.

Terá diferentes frentes preparadas para o treinamento de técnicas de extração usuais e de operação de equipamentos, de novas tecnologias e métodos de lavra, bem como para a execução de estudos e pesquisas com universidades e centros de pesquisa. Além disso, terá um local disponibilizado aos fabricantes para demonstrações de novos equipamentos.

Possui uma sede administrativa, almoxarifados e oficinas de manutenção dos equipamentos instalados em Ruy Barbosa, inaugurada em agosto de 2002, em terreno cedido pela Prefeitura Municipal, além de instalações provisórias, de apoio, nas frentes ou locais em que esteja operando.

Será implantada em três etapas:

- A primeira, **finalizada**, está dedicada à estruturação técnica do projeto e à sua implantação, executando ações relativas à seleção e pesquisa de áreas para localização da pedreira, à aquisição de equipamentos e materiais, construção da sede e estruturas de apoio, à busca e consolidação de parcerias para a consecução de apoios técnicos e financeiros, e para a preparação das ementas dos cursos e treinamentos básicos;
- A segunda etapa, em execução, abrange os trabalhos de abertura da primeira frente de lavra e estará dedicada à consolidação da estrutura operativa da Pedreira-Escola e aos seus treinamentos básicos; além da construção da sede, oficinas e alojamentos do projeto; e
- A terceira, além da operação normal da pedreira e seus treinamentos e suas frentes de lavra, estará dedicada à interação com os centros de pesquisa e universidades e com os fabricantes de equipamentos, como preconizado em seus objetivos gerais e específicos.

Programação

Programação de Atividades

O Projeto Pedreira-Escola foi iniciado no dia 18 de abril de 2001, no auditório do Museu Geológico da Bahia, na cidade de Salvador, por ocasião da realização do encontro do Programa CYTED, quando foram discutidos, com os representantes de diversos países da América Latina, Portugal e Espanha, os princípios e objetivos da proposta baiana e a necessidade de possíveis estruturas similares, voltadas ao setor de rochas ornamentais na Iberoamérica.

No encontro foram apresentadas as diretrizes básicas do projeto e formalizados o **convênio de cooperação técnica** entre a **CBPM** e o **CETEM/MCT**, o qual tem como coordenador geral o Geólogo Hélio Azevedo, da CBPM, e como coordenador técnico o Engenheiro de Minas Adriano Caranassios, do CETEM/MCT, e o **acordo de cooperação** entre a **CBPM**, o **Simagran-BA** e a **Mineração Corcovado**, para utilização de parte de uma área com direitos minerários pertencentes à empresa, para implantação da primeira frente de lavra a ser utilizada no Projeto Pedreira-Escola.

No período de abril / 2001 a dezembro / 2003, as atividades do projeto desenvolvem-se de acordo à seguinte programação geral:

ABRIL 2001 - JULHO 2002 - 1ª ETAPA: Seleção e estudo de áreas, detalhamento do projeto técnico, implantação de infra-estrutura viária e energética, detalhamento do conteúdo dos cursos e treinamentos, aquisição de equipamentos e realização de parcerias com os fabricantes, aquisição de viaturas, ferramentais e materiais, construção da sede, oficinas e estruturas de apoio, planejamento operativo da pedreira;

AGOSTO - DEZEMBRO - 2002 - 2ª ETAPA: Inauguração da sede e oficinas do projeto (agosto); início dos trabalhos de abertura e preparação da primeira frente de lavra (outubro); formatação e implantação da entidade jurídica gerenciadora da pedreira; construção dos alojamentos e escritório da administração; início dos treinamentos operacionais de equipamentos (novembro); execução do programa de visitas técnicas e de divulgação do projeto (nacionais e internacionais); abertura de novas frentes para pesquisa e demonstrações de técnicas de extração e desempenho de equipamentos.

2003 - 3ª ETAPA: Continuação dos treinamentos operacionais rotineiros; desenvolvimento de treinamentos técnicos (geólogos, engenheiros de minas e outros); início das atividades de pesquisas conjuntas com universidades e centros de tecnologia; início dos treinamentos e demonstrações de novas técnicas e de novos equipamentos; desenvolvimento de novas tecnologias e equipamentos. Operação da pedreira e suas diferentes frentes de lavra e pesquisa, seus diferentes cursos e treinamentos;

interação intensa com fabricantes de equipamentos e centros de pesquisa, implantação de cursos itinerantes, inclusive interessando estudos de casos em pedreiras selecionadas.

Diversas parcerias de cooperação técnica e/ou técnico-financeira entre o CETEM/CBPM e entidades nacionais como o MME, MCT, UFBA, USP, UFPB, IPT, SENAI, entre outros, e com organismos internacionais, foram ou estão sendo firmadas.

Consolidando as atividades de implantação, os coordenadores do projeto estão visitando pedreiras de granitos, empresas do setor de rochas ornamentais, fundações e entidades de pesquisa e de escolas de capacitação, e organismos de cooperação internacional, no Brasil e no Exterior (Portugal, Espanha e Itália), buscando subsídios técnicos e apoios às atividades da Pedreira-Escola.

Programação Financeira

A programação financeira do projeto reflete suas especificidades e está em consonância com seus objetivos maiores. Assim, investimentos em equipamentos, desenvolvimento de pesquisa e treinamentos foram fatores, especial e enfaticamente considerados, na montagem das equações de custos e receitas do projeto e para a formatação do seu quadro de investimentos e necessidades financeiras.

Portanto, sob esta ótica, a CBPM destinou recursos financeiros para o Projeto Pedreira-Escola, na execução das atividades que compuseram sua primeira etapa, que somam (até dezembro de 2001) R\$519.193,00 e está investindo no período janeiro/novembro de 2002 mais R\$ 608.807,00, totalizando R\$ 1.200.000,00 (hum milhão e duzentos mil reais). O Governo Federal, através do convênio CETEM/MME, destinou, por sua vez, R\$250.000,00 para os trabalhos de preparação da frente de lavra e início da produção, elaboração de material didático, viagens técnicas e consultorias. O total investido até agora atinge a cifra de R\$1.450.000,00 (hum milhão e quatrocentos e cinqüenta mil reais).

O quadro a seguir mostra os investimentos já efetuados e previstos para as primeira e segunda etapas do projeto:

a) Recursos financeiros da CBPM

Situação	Elemento de Despesa	Valor	Fonte	Observação	
Realizados (2001)	Estudos Geológicos	70.000,00	CBPM	Pessoal, diárias, materiais, serviços.	
	Aquisição de equipamentos e materiais	429.193,00	CBPM	Compressores 2, sonda 1, marteletes 10, máquina de fio diamantado 1, gerador 1, jet flame 1.	
	Apoio e consultoria	20.000,00	CBPM		
	Total 1	519.193,00			
A Realizar (Janeiro/Novembro 2002)	Construção da sede e oficinas	125.000,00	CBPM	Inclusive urbanização	
	Aquisição complementar de equipamentos	128.000,00	CBPM	Lança para movimentação de blocos, perfuratriz contínua, <i>container</i> , escritório para frente de lavra.	
	Aquisição de materiais e ferramentais	50.000,00	CBPM	Para os dois primeiros meses de operação - almoxarifado inicial.	
	Móveis e utensílios	25.000,00	CBPM	Para sede e oficinas.	
	Viaturas	128.000,00	CBPM	Para apoio (2 pick-up e 1 caminhão F4000)	
	Serviços de consultoria e programação de cursos	30.000,00	CBPM	Detalhamento de conteúdo programático.	
	Outros	40.000,00	CBPM	Inclui infra-estrutura de apoio na frente de lavra e outras despesas.	
	Construção de alojamentos e administração	154.807,00	CBPM	Suplementação orçamentária	
		Total 2	680.807,00*		
		Total (1 + 2)	1.200.000,00*		Investimentos da CBPM

* não inclui os equipamentos de locomoção e transporte de blocos.

b) Recursos financeiros do CETEM/MME

<i>Situação</i>	<i>Elemento de Despesa</i>	<i>Valor</i>	<i>Fonte</i>	<i>Observação</i>
A Realizar (Set - Dez - 2002))	Serviços técnicos de abertura e preparação das frentes de lavra da pedreira do granito Beija Flor.	185.000,00	CETEM/ MME	Convênio CETEM/MME – apoio ao Projeto Pedreira-Escola
	Outras despesas	65.000,00	CETEM/ MME	Consultoria, material didático, viagens técnicas, material etc
	Total	250.000,00		Investimentos CETEM/MME
Total Investido e a Investir		R\$1.450.000,00		

A programação financeira para a terceira etapa do projeto, delineada em outubro de 2002, estará inteiramente dependente dos recursos oriundos de parcerias estabelecidas, da programação de cursos e do andamento do projeto.

Importante, contudo considerar-se que a equação financeira da terceira etapa do projeto deverá levar em conta itens como: *aquisição da pá-carregadeira; constituição e manutenção da equipe operativa da pedreira* (equipe própria), *manutenção da estrutura operativa e de apoio do projeto, operação da pedreira e execução dos treinamentos* entre outros custos.

Treinamentos (2002/2003)

Ao longo deste seu primeiro ano de operação o pioneiro Projeto Pedreira-Escola, estará vivenciando todos os percalços do seu ineditismo e do *fazer experimentando e aprendendo*. Será um ano intenso, onde a partir de um planejamento temático e inicial, teórico, mas lógico, buscar-se-á experimentar e consolidar diferentes metodologias de treinamento e profissionalização para o setor de rochas ornamentais.

“Muitos são os obstáculos a superar e os problemas a resolver, mas os ideais expressos pelo projeto, em si, são de tal força e poder que não faltarão parceiros e ajudas à sua concretização”.

Assim, considerando-se que *“uma marcha de mil quilômetros começa com os primeiros passos”* e que no primeiro ano de atividades ainda estará o Projeto Pedreira-Escola em processo de consolidação e estabelecimento das parcerias previstas com entidades e empresas e, mais ainda, considerando-se a urgência manifestada pelas empresas baianas do setor de rochas ornamentais, há que se dar início imediato à formação de profissionais e mão de obra qualificada para suas atividades de exploração mineral.

O Projeto Pedreira-Escola enfocará inicialmente, *a priori*, suas atividades de treinamento na operação e manutenção de equipamentos básicos de perfuração e movimentação, bem como equipamentos especiais de corte de rocha em bancadas, nas rotinas de planejamento e execução de lavra, e nos aspectos de segurança e higiene do trabalho, e no controle ambiental da atividade, disponibilizando a seguinte programação de treinamentos:

Operativos de Equipamentos: G e H

- G01. Operação e manutenção de grupos de geradores;
- G02. Operação e manutenção de compressores;
- G03. Operação e manutenção de perfuratrizes pneumáticas manuais (GB-658-6L e outras);
- G04. Operação e manutenção de perfuratrizes de coluna, montadas sobre trilhos;
- G05. Operação e manutenção de sonda rotativa;
- G06. Operação e manutenção de lança e guinchos para movimentação de blocos;
- H01. Operação e manutenção de máquina de fio diamantado (Marini);
- H02. Operação e manutenção de maçarico (flame jet);
- H03. Eletricidade básica de circuitos operativos de equipamentos e mecânica de prevenção e conservação de equipamentos (em parceria com SENAI e fabricantes).

Lavra & Desenvolvimento & Gestão & Saúde/Segurança do Trabalho e Meio Ambiente: F, J, K, L e M

- F. Abertura e desenvolvimento de frentes de lavra de granitos;
- J. Métodos e técnicas especiais de extração de rochas ornamentais;
- K. Detecção e análise de fraturas com a utilização de técnicas de ultrassom e radar penetrante (GPR);
- L. Planejamento e gestão de empreendimentos mineiros na lavra de rochas ornamentais; *L01 Elaboração do plano de negócio; L02. Administração de pedreiras e gerência de produção;*
- M. Saúde, higiene e segurança no trabalho e gestão ambiental.

Os treinamentos “Operação e manutenção de pá-carregadeira” e “Operação e manutenção de trator”, poderão acontecer neste primeiro ano de atividades do Projeto Pedreira - Escola caso se consigam recursos para a aquisição destes equipamentos ou se consiga interagir com os fabricantes, para que estes disponibilizem uma unidade de cada equipamento para a Pedreira - Escola.

Ainda no decorrer do primeiro ano de atividades de capacitação, o projeto, na dependência das parcerias e apoios celebrados, poderá realizar trabalhos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no que tange à realização de seminários técnicos e empresariais, demonstrações de equipamentos técnicos e de equipamentos de pesquisas aplicadas.

É importante assinalar que os treinamentos programados para 2002/2003, principalmente os do tipo G e H, serão ministrados com uma frequência mínima de 4 eventos por ano.

Outro ponto relevante a ser registrado na programação de 2002/2003 é o papel de destaque assumido pelos fabricantes e fornecedores de equipamentos para o Projeto Pedreira - Escola. Estes fornecedores representados pela Atlascopco, Chicago Pneumatic, Komatec, Boart Longyear, Marini (Quarries Group), Sandvick, Tamrock, de acordo com os contatos já efetuados, se mostraram dispostos a apoiar não só a estruturação dos treinamentos operativos como, também, colocar à disposição do Projeto material didático para os treinamentos.

Contatos e Informações Complementares

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL – CBPM

4ª AVENIDA, 460 – CENTRO ADMINISTRATIVO DA BAHIA - 41745-000 – SALVADOR – BAHIA

Ruy Fernandes da Fonseca Lima – Diretor Presidente
Tel:(71)370-7420,
e-mail cbpmba@cbpm.com.br

Moacyr Moura Marinho – Diretor Técnico
Tel:(71)3707445,
e-mail cbpmdt@cbpm.com.br

Hélio Azevedo – Coordenador do Projeto
Tel:(71)370-7510,
e-mail hazevedo@cbpm.com.br

SIMAGRAN-BA

RUA EDISTIO PONDÉ, 342 – STIEP
41760-310 – SALVADOR – BAHIA

Gian Marco Biglia – Presidente
Tel (71) 343-1223, Fax (71) 342-2489
e-mail sindicatos@fieb.org.br

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

AV. IPÊ, 900 – CIDADE UNIVERSITÁRIA – ILHA DO FUNDÃO -21941-590 – RIO DE JANEIRO – RJ

Gildo de A. Sá Cavalcanti de Albuquerque
– Diretor,
e-mail: gildosa@cetem.gov.br
Adriano Caranassios,
e-mail: adriano@cetem.gov.br
Francisco W. Hollanda Vidal,
e-mail: abirochas@secrel.com.br
Núria Fernández Castro,
e-mail: ncastro@cetem.gov.br

SITUAÇÃO BRASILEIRA NO MERCADO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS – RETROSPECTIVA E PERSPECTIVAS

Cid Chiodi Filho

Geólogo e Sócio-Gerente da Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos
Consultor da ABIROCHAS – Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais

Rua Pernambuco, 488/602 – Belo Horizonte – MG – Telefax (31) 3262-0275 - cdchiodi@terra.com.br

RESUMO

A produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,5 milhões de toneladas/ano na década de 1920, para um patamar de 60 milhões de toneladas no ano 2000. Prevê-se que em 2025 a produção mundial de rochas atingirá 320 milhões de toneladas/ano, multiplicando-se por oito as atuais transações internacionais, estimadas em 23 milhões t/ano. O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores mundiais. Sua produção totaliza 5,2 milhões t/ano, abrangendo 500 variedades comerciais derivadas de 1300 frentes ativas de lavra. Estima-se a existência de 10.000 empresas do setor atuantes no Brasil, responsáveis por 105.000 empregos diretos. As transações comerciais nos mercados interno e externo movimentam mais de US\$ 2 bilhões/ano. As exportações brasileiras de 2001 atingiram US\$ 280,2 milhões, correspondentes a 1,1 milhão de toneladas. Mantendo-se crescimento de 12% ao ano, compatível à média dos últimos 5 anos, projeta-se patamares de exportação de US\$ 500 milhões em 2006.

ABSTRACT

The Brazilian production of dimension stones is superior to 5 millions tons/year and the exports already reach 1.1 million tons/year, what places Brazil in the group of the great producers and world exporters. The industrial park operates with almost 1,600 gang saws, having capacity of 30 millions m²/year. The Brazilian situation can be also illustrated by the production of 500 commercial varieties of rocks, derived of almost 1,300 active quarries. The internal consumption reaches about 50 million m²/year, equivalent to 25 kg *per capita*, and the sector turns over US\$ 2.1 billion/year in Brazil, generating about 105 thousand direct jobs in approximately 10,000 companies. The 2001 Brazilian exports have reached US\$ 280.2 million and 1.1 million tons, projecting US\$ 500 million in 2006. Joining 10% of the Brazilian ceramic consumption, its possible to define a potential of 100 millions m²/year for natural stones in the internal market.

INTRODUÇÃO

A força do setor de rochas pode ser mensurada ou referir-se que a produção mundial de suas matérias primas evoluiu de 1,5 milhões de toneladas/ano na década de 1920, para um patamar de 60 milhões de toneladas no ano 2000. O vigoroso incremento do mercado internacional caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como “a nova idade da pedra”, destacando o setor de rochas como uma importante nova área de negócios minero-industriais.

As projeções de consumo/produção e exportações mundiais não apontam mudança de paradigmas na construção civil, indicando manutenção da tendência de crescimento do setor registrada nas últimas duas décadas. Prevê-se nestes termos que em 2025 a produção mundial de rochas atingirá 320 milhões de toneladas/ano, multiplicando-se por oito as atuais transações internacionais.

Cerca de 23 milhões t/ano de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2000. Somando-se as transações do mercado internacional e dos mercados internos dos países produtores, bem como a comercialização de máquinas, equipamentos, insumos e serviços, estima-se que o setor de rochas movimente US\$ 40 bilhões/ano.

Mundialmente, a Itália é um dos principais “*players*” do setor, colocando-se entre os maiores produtores, como maior importadora de material bruto, maior consumidora *per capita* e maior exportadora de tecnologia. Os EUA, seguidos do Japão, são por sua vez os principais importadores de produtos acabados, tendo respondido por 32,4% em peso das transações mundiais em 1999. A China é a maior importadora de máquinas e equipamentos, tendo absorvido 11,4% em peso do total comercializado no mercado internacional em 2000.

Dentre os doze principais países produtores, oito pertencem ao grupo dos principais consumidores e nove ao dos principais exportadores de rochas processadas, atestando a forte ligação entre mercado interno, produção e volume de negócios. A Itália, Espanha, Japão, Alemanha, EUA e França foram responsáveis por 38,2% do consumo mundial noticiado em 2000.

O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e de revestimento. Sua produção totaliza 5,2 milhões t/ano, abrangendo 500 variedades comerciais derivadas de 1300 frentes ativas de lavra. Os granitos perfazem cerca de 60% da produção brasileira, enquanto 20% são relativos a mármore e travertinos e quase 8% a ardósias.

Estima-se a existência de 10.000 empresas do setor atuantes no Brasil, responsáveis pela agregação de 105.000 empregos diretos e por um parque de beneficiamento com capacidade para 30 milhões de m²/ano. As transações comerciais nos mercados interno e externo, incluindo-se negócios com máquinas e insumos, movimentam mais de US\$ 2 bilhões/ano.

O consumo interno aparente de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil é estimado em 50 milhões m²/ano, equivalentes a 25 kg per capita. Cerca de 80% da produção, beneficiamento, consumo interno, importações e exportações do Brasil são devidos à região sudeste. O Estado do Espírito Santo, seguido por Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro, representam os principais arranjos produtivos de lavra e beneficiamento.

As exportações brasileiras de 2001 atingiram US\$ 280,2 milhões, correspondentes a 1,1 milhão de toneladas. Mantendo-se crescimento de 12% ao ano, compatível à média dos últimos 5 anos, projeta-se patamares de exportação de US\$ 500 milhões em 2006.

As rochas processadas representaram 29,7% em peso e 60,2% em valor das exportações brasileiras em 2001, evidenciando os maiores índices de crescimento em relação a 2000. No ano de 2001, cerca de 66,1% das exportações de rochas processadas, em valor, foram destinadas aos EUA, enquanto que para a Itália foram remetidos cerca de 40% em peso das exportações de rochas brutas.

As exportações do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, que são os principais estados produtores, totalizaram US\$ 217,5 milhões em 2001. O Espírito Santo consolidou sua posição de principal produtor e exportador, respondendo em 2001 por cerca de 46%, em peso e valor, do total das exportações brasileiras.

O melhor desempenho do Espírito Santo com exportação de rochas graníticas processadas, bem como de Minas Gerais com ardósias e quartzitos foliados, está lastreado na existência de parques industriais de beneficiamento e em uma base de competitividade inicialmente firmada para produtos acabados/semi-acabados no mercado interno.

As importações brasileiras de rochas de revestimento em 2001 somaram US\$ 21 milhões, 80% das quais referentes a produtos de mármore e travertinos originados principalmente da Itália, Espanha e Grécia. O saldo da balança comercial do setor é positivo e atinge, assim, quase US\$ 260 milhões.

No mercado mundial, em 2000, o Brasil colocou-se como 6º. maior exportador de rochas em volume físico, como 4º. maior exportador de granitos brutos, como 8º. maior exportador de rochas processadas especiais e, junto com a China, como 2º. maior exportador de ardósias. No ano 2000, o Brasil teve assim participação de 0,1% nas exportações mundiais de rochas carbonáticas brutas (posição 25.15), de 10,4% nas de rochas silicáticas brutas (posição 25.16), de 1,3% nas de rochas processadas simples (posição 68.01), de 2,1% nas de rochas processadas especiais (posição 68.02) e 6,4% nas de ardósias (posição 68.03), compondo 4,8% do volume físico do intercâmbio mundial.

O número total de empresas exportadoras no Brasil cresceu de 332 em 1997 para 508 no ano 2000, destacando-se o incremento daquelas que operam pelos códigos de rochas processadas. Os incrementos mais expressivos referem-se aos

códigos 6802.23.00 (chapas de granito) e 6803.00.00 (ardósias trabalhadas).

Avaliando-se o perfil de distribuição das empresas exportadoras no Brasil, observa-se forte concentração na região sudeste e um processo gradual de interiorização do setor. Os incrementos mais significativos do número de empresas exportadoras, de 1997 para 2000, ocorreram no Espírito Santo (86 para 154), São Paulo (38 para 86), Santa Catarina (3 para 11) e Paraná (12 para 25).

Boa parte do parque industrial brasileiro de beneficiamento encontra-se tecnologicamente defasado, o que prejudica nossa competitividade no mercado internacional. A modernização desse parque industrial poderá ser viabilizada tanto pela adequação/automação das máquinas e equipamentos já instalados, quanto sobretudo através da aquisição de bens de capital nacionais e importados tecnologicamente atualizados. O atendimento das demandas necessárias para atualização do parque industrial, prevê investimentos de no mínimo US\$ 1 bilhão até 2015.

RETROSPECTIVA RECENTE DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS

O Desempenho das Exportações em 1999

O ano de 1999 marcou o início da recuperação do mercado internacional de rochas, após a crise asiática do final de 1997. As exportações brasileiras do período somaram US\$ 232,4 milhões, correspondentes a 983,6 mil t, com incremento de respectivamente 10,4% e 5,1% frente a 1998.

Dois fatores importantes já eram observados em 1999: o primeiro, relativo ao incremento percentual bem mais significativo das rochas processadas, sobre o das rochas brutas; o segundo, do maior incremento percentual em peso (36,7%) que em valor (25,5%), das rochas processadas.

O primeiro fator marcou a efetiva mudança do perfil das exportações, tendo-se atingido equilíbrio no faturamento com rochas brutas e processadas. O segundo fator consolidou uma tendência, imposta sobretudo pela China no mercado internacional ao longo da década de 90, marcada pela pressão competitiva através da redução de preços praticados para as rochas processadas.

Na base exportadora, de fato observou-se um crescimento muito significativo das empresas exportadoras de chapas de granito pelo código 6802.23.00, tendo-se passado de 89 empresas em 1998 para 130 em 1999. Da mesma forma observou-se um incremento geral expressivo do total de empresas exportadoras de rochas no Brasil, de 371 em 1998 para 433 em 1999, além de uma interiorização da atividade exportadora com novas empresas registradas no Mato Grosso, Paraíba, Rondônia, Acre, Goiás e Piauí.

Ao mesmo tempo registrou-se, por um lado, certa vulnerabilidade da posição brasileira pela concentração das exportações de rochas

processadas ao mercado norte-americano (71% do valor total das exportações de rochas processadas) e de rochas brutas ao mercado italiano (40% em peso do total das exportações brasileiras), e por outro exportações para 70 países, em todos os continentes.

O Desempenho das Exportações em 2000

Deu-se continuidade em 2000 ao ciclo de crescimento das exportações de rochas, tendo-se atingido US\$ 271,77 milhões e 1,1 milhão de toneladas. Estes totais representaram incremento de 16,9% em valor e 12,1% em peso das exportações, sobre 1999.

As exportações de rochas processadas, tanto simples (posição 6801) quanto especiais (posição 6802), somaram US\$ 153,3 milhões em 2000, o que representou 56,4% do total exportado e, portanto, estampou a mudança do perfil das exportações brasileiras, de rochas brutas para processadas.

Novamente, no entanto, o percentual de crescimento em peso (45,5%), das exportações de rochas processadas, foi muito significativo porém inferior ao percentual de crescimento do faturamento (32,3%), o que sinalizou para o processo de desvalorização das rochas processadas no mercado internacional. Deve-se neste caso referir uma desvalorização média de 6,44% das exportações gerais de rochas brasileiras em 2000, sobre o ano anterior.

Na base exportadora, de novo observou-se maior crescimento do número de empresas com negócios nas posições de rochas processadas, tendo-se contabilizado um total de 508 empresas exportadoras em 22 estados da Federação. O Espírito Santo consolidou sua posição de principal *cluster* de mármore e granitos no Brasil, respondendo por 42,7% em valor do total das exportações brasileiras e por mais de 50% em valor das exportações brasileiras de rochas processadas. O estado do Rio de Janeiro ultrapassou o estado da Bahia, tornando-se o terceiro maior exportador brasileiro de rochas, enquanto Minas Gerais contrabalançou a queda das exportações de blocos de granito com o aumento das exportações de produtos de ardósia e quartzitos foliados (pedra São Tomé).

É importante neste sentido salientar que em 2000 o Brasil tornou-se o segundo maior exportador mundial de ardósias, superando a China e ficando aquém apenas da Espanha. Destaca-se ainda que o Brasil saltou da 12ª. posição do ranking mundial dos exportadores de rochas processadas especiais, em 1999, para a 8ª. posição em 2000, tendo-se ainda respondido com os EUA pelo 8º. maior fluxo comercial de rochas processadas especiais, depois de ter sido apenas o 15º. em 1999. Assim, o Brasil respondeu em 2000 por 2,1% do mercado internacional de rochas processadas especiais, subindo 0,7 pontos percentuais sobre 1999.

O Desempenho das Exportações em 2001

Era grande a expectativa para 2001, estimando-se um crescimento sobre 2000 de até 20% em valor. Mas um conjunto inesperado de fatores adversos

contrariou todas as projeções, revertendo as esperadas taxas de crescimento das transações comerciais.

Internamente, contribuíram questões extrínsecas ao setor, como a pressão inflacionária, a desvalorização cambial, a crise da Argentina e, sobretudo, o racionamento de energia e a cobrança de IPI sobre os produtos de rochas. No plano externo, concorreram a não superação da crise japonesa, a expansão pífia da economia européia e a desaceleração do crescimento norte-americano.

Antes mesmo dos atentados de 11 de setembro havia indicadores econômicos negativos, evidenciados também pela queda do crescimento das exportações brasileiras de rochas.

Já no primeiro trimestre de 2001 o incremento foi de apenas 11,89% em valor sobre igual período de 2000, tendo-se anotado crescimento de 3,72% ao final do primeiro semestre, e taxa negativa de 1,35% no período de janeiro-agosto, com ligeira recuperação entre janeiro-setembro e janeiro-dezembro.

Outro desdobramento negativo, para o setor, do conflito norte-americano, foi o acirramento da concorrência através dos preços, prática internacional negativa, mas bem sucedida, da Índia e, sobretudo, da China.

Esta desvalorização dos produtos está manifestada no período de janeiro-dezembro, no qual as taxas de crescimento em peso e valor das nossas exportações, pelo código 6802.23.00 (chapas de granito), foram respectivamente de 14,60% e 8,73% sobre igual período de 2000. Fechou-se, assim, o ano de 2001 com exportações gerais de US\$ 280,17 milhões e 1.101.275, 68 toneladas, o que representou, respectivamente, variação de +3,09% e -0,15% sobre 2000.

As exportações correspondentes a processados de granitos, mármore, quartzitos foliados e ardósias atingiram US\$ 168,63 milhões e 326.979,14 toneladas, respectivamente 60,2% e 29,7% do total exportado. A variação em valor das exportações brasileiras de rochas processadas foi de 32,3% em 2000 e de 10,0% em 2001, superando largamente as taxas para rochas brutas e compensando sua variação negativa em 2001 para peso e valor.

Mesmo aquém das expectativas, o desempenho brasileiro de 2001 foi compatível ao de outros grandes países exportadores, podendo ser avaliado como significativo em período recessivo da economia mundial.

O Desempenho das Exportações em 2002

A queda das taxas de crescimento das exportações brasileiras de rochas em 2001 foi revertida no primeiro quadrimestre de 2002, quando se registrou incremento de 13,45% em valor e de 9,27% em peso, face a igual período de 2001. Neste primeiro quadrimestre foram exportados US\$ 96,1 milhões e 365.767,76 toneladas, elevando-se de 60, 5% para 64,3% a participação percentual em valor das rochas processadas no total exportado.

A exemplo de 2001, as taxas de crescimento das exportações recuaram ao final do primeiro semestre de 2002, com variação de -0,11% em valor (Fig. 1) e de -11,48% em peso, totalizando-se assim US\$ 133,1 milhões e 466.657,23 toneladas. Destacou-se contudo, no período de janeiro-junho de 2002, o crescimento de 14,6% em valor e de 23,5% em peso das rochas processadas, evoluindo de 60,87% para 69,83% a sua participação no valor total exportado.

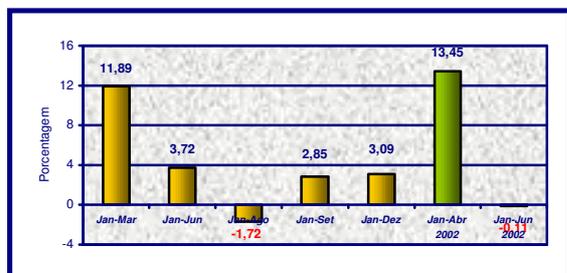


Figura 1 - Variação da Taxa de Crescimento do Valor das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2001

Registrou-se assim uma notável evolução qualitativa das exportações brasileiras, superando-se efetivamente o perfil de comercialização de rochas brutas no mercado internacional. Ao mesmo tempo observa-se o claro declínio das exportações de blocos, o que demonstra a competitividade crescente da indústria brasileira de transformação, bem como queda no preço médio das rochas processadas, tendo-se variação negativa de 7,21% apenas no primeiro semestre de 2002.

Espera-se que, no segundo semestre, o aumento das exportações de rochas processadas siga compensando a queda em peso e valor das exportações de rochas brutas (blocos). Também se espera que a crise no mercado de internacional de capitais e nas grandes empresas da nova economia, continue não afetando o comportamento ainda positivo da construção civil norte-americana e dos principais países compradores da Europa. Nestes termos, pode-se hoje realisticamente projetar incremento de 5 a 10% no valor das exportações brasileiras de rochas em 2002, a partir da sazonalidade positiva esperada para o segundo semestre.

BALANÇO DOS PRINCIPAIS ESTADOS EXPORTADORES

Espírito Santo

As exportações de rochas do Espírito Santo evidenciaram expressivas taxas de crescimento em valor e volume físico tanto para rochas brutas quanto sobretudo para rochas processadas. Em 2001 essas exportações somaram US\$ 128,95 milhões e 521.244 toneladas, com variação positiva de respectivamente 11,06% e 6,79% sobre o ano 2000.

A variação positiva do Espírito Santo é explicada pelo crescimento e aumento na participação percentual de

rochas processadas em suas exportações, compensando a queda do preço médio da maior parte dos produtos comercializados no mercado internacional. No ano de 2001 essas rochas processadas somaram US\$ 69,73 milhões, representando 54,07% do total das exportações capixabas e 41,3% das exportações brasileiras de rochas processadas.

Em faturamento, a participação geral do Espírito Santo nas exportações brasileiras evoluiu de 29,26%, no ano de 1996, para 46,03% no ano de 2001. Em volume físico, tal participação cresceu de 25,50%, em 1996, para 47,38% no ano de 2001.

Minas Gerais

As exportações de rochas de Minas Gerais seguem outra tendência, com queda em valor e volume físico desde 1999. Em 2001 essas exportações somaram US\$ 70,39 milhões e representaram apenas 25,17% do total brasileiro, com variação negativa de 4,58% frente ao ano 2000.

A variação negativa de Minas Gerais é explicada pela queda nas exportações de rochas graníticas, que somaram US\$ 24,02 milhões e representaram somente 34,13% do total exportado pelo estado em 2001.

O fraco desempenho das rochas graníticas foi compensado pelas exportações de ardósias e quartzitos foliados (pedra São Tomé). Para ardósias (posições 6803.00.00 e 2514.00.00) as exportações do estado somaram US\$ 28,59 milhões e registraram crescimento de 8% sobre o ano 2000. Para os quartzitos foliados (posição 6801.00.00), da mesma forma, as exportações de 2001 somaram US\$ 11,02 milhões e representaram crescimento de 32,6% sobre o ano anterior.

As ardósias já representam, portanto, 40,63% em valor das exportações totais de rochas de Minas Gerais. Para os quartzitos foliados, da mesma forma, essa participação já atinge 15,66%.

O preço médio registrado para ardósias na posição 6803.00.00 é no entanto declinante nos últimos anos, com taxa negativa de 4,07% em 2001. A desvalorização de preço acumulada de 1997 a 2001 soma 19,13%, indicando a repetição de um processo já vivenciado no mercado interno.

Rio de Janeiro

As exportações do setor de rochas do Rio de Janeiro, no ano 2001, totalizaram US\$ 21,91 milhões e 39.027 toneladas. Frente ao ano 2000 registrou-se variação negativa de 0,60% no faturamento e variação positiva de 5,60% no volume físico das exportações.

O faturamento com rochas processadas somou US\$ 20,61 milhões em 2001, correspondentes a 94,07% das exportações totais do estado e a 12,22% das exportações brasileiras de rochas processadas. Em relação ao ano 2000, registrou-se crescimento de

0,19% no faturamento das exportações cariocas de rochas processadas.

Em termos mais amplos, a participação do Rio de Janeiro no faturamento das exportações brasileiras de rochas avançou de 5,05% em 1996 para 8,11% em 2000, recuando para 7,84% em 2001. Em volume físico, avançou-se de 2,02% em 1996 para 3,55% no ano 2001.

Houve queda de 2,19% no faturamento dos produtos exportados pela posição 6802.23.00, que abriga sobretudo chapas polidas de granitos. Destaca-se a desvalorização de 11,97% do preço médio dos produtos da posição 6802.23.00, que representou 89,13% do faturamento das exportações totais do Rio de Janeiro em 2001.

Bahia

As exportações de rochas ornamentais e de revestimento da Bahia totalizaram US\$ 18,19 milhões em 2001, correspondentes a 109.971,67 toneladas. Em relação ao ano 2000, houve variação negativa de 13,08% no faturamento e de 6,08% no volume físico dessas exportações.

O faturamento com rochas processadas somou US\$ 1,92 milhões em 2001, correspondentes a apenas 10,57% das exportações totais do Estado e a 1,14% das exportações brasileiras de rochas processadas. Em relação ao ano 2000, registrou-se queda de 16,30% no faturamento das exportações baianas de rochas processadas.

Em termos mais amplos, a participação da Bahia no faturamento das exportações brasileiras de rochas recuou de 13,07%, em 1996, para 6,40% em 2001. Em volume físico recuou-se de 16,33%, em 1996, para 9,69% em 2001.

Ressalta-se a desvalorização de -5,25% do preço médio dos produtos da posição 2516.11.00, correspondentes a blocos de granito e que representaram, respectivamente, 58,42% e 62,90% do faturamento das exportações baianas em 2000 e 2001.

São Paulo

Refere-se que as exportações paulistas de rochas, em 2001, somaram US\$ 9,3 milhões e 18.487,24 toneladas, correspondentes respectivamente a 3,3% e 1,7% do total das exportações brasileiras. Dessas exportações paulistas, 89,3% em valor e 76,4% em peso são devidas a rochas processadas, incluindo uma participação já significativa de produtos finais.

O comportamento das exportações no primeiro semestre de 2002 parece sinalizar para uma melhor adequação de São Paulo às novas necessidades brasileiras no mercado internacional. Neste primeiro semestre, enquanto as exportações brasileiras recuaram 0,11% em valor e 11,48% em peso, as exportações paulistas cresceram 26,1% no faturamento e 14,9% no volume físico, totalizando US\$ 5,4 milhões e 10.472,70 toneladas.

Mais importante, enquanto as exportações brasileiras de rochas processadas sofreram queda de 7,2% no preço médio de seus produtos, o preço médio das exportações paulistas de rochas processadas teve crescimento de 7,1%, o que já indicaria uma maior participação dos produtos finais e portanto das próprias marmorarias nessas exportações.

Nenhum outro estado exportador reproduziu essa situação, mencionando-se Minas Gerais e Espírito Santo com queda de respectivamente 12,3% e 6,6% no preço médio de suas exportações de rochas processadas. Particularmente o Espírito Santo, maior exportador brasileiro de chapas, teve incremento de 39,7% em peso nas exportações de rochas processadas no primeiro semestre de 2002, apesar do que o seu faturamento total cresceu apenas 0,1%.

EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS PARA ITÁLIA E EUA

As exportações brasileiras para os EUA, em 2001, somaram US\$ 116,63 milhões e representaram 41,72% do total exportado pelo Brasil, o que significou incremento de 8,71 em valor sobre o ano 2000. Já para a Itália, em 2001, as exportações somaram US\$ 47,23 milhões e representaram apenas 16,89% do total exportado pelo Brasil, observando-se queda de 13,82% em valor sobre o ano 2000.

Este quadro é explicado quando se observa que 95,6% em valor das exportações brasileiras para os EUA são de rochas processadas, enquanto para a Itália essa taxa é de apenas 11,6%. Assim, 66,14% em valor do total das exportações brasileiras de rochas processadas foram destinadas aos EUA no ano 2001, tendo-se somente 3,25% para a Itália.

Através de uma retrospectiva pouco mais ampla, verifica-se que as exportações brasileiras para a Itália recuaram de US\$ 63,01 milhões em 1997 até os referidos US\$ 47,23 milhões em 2001, enquanto para os EUA as exportações brasileiras avançaram de US\$ 43,36 milhões em 1997 até os US\$ 116,63 em 2001.

Tais tendências são comuns entre mercados com perfis semelhantes aos dos EUA e Itália. O crescimento das exportações de rochas processadas, tanto do Brasil quanto de outros competidores no mercado internacional, tem sido inversamente proporcional ao das exportações de rochas brutas.

Os países mais expressivos no mercado mundial, caso da Itália e China, têm o faturamento das suas exportações centrado nas rochas processadas e suas importações calcadas em rochas brutas.

Se o Brasil não tivesse evoluído na comercialização de rochas processadas, suas atuais exportações talvez não atingissem US\$ 100 milhões/ano. Do crescimento contínuo das exportações de rochas processadas, dependem tanto o desenvolvimento da indústria nacional de máquinas e equipamentos quanto a relação custo/benefício desejável para o setor no Brasil.

Ademais, negócios calcados na comercialização de rochas brutas apoiam-se essencialmente em atividades de lavra, podendo ser tanto afetados por crises econômicas quanto por modismos. Negócios centrados em rochas processadas apoiam-se na lavra e no beneficiamento e são portanto menos susceptíveis a oscilações negativas, já que os modismos podem afetar o mercado de alguns tipos comerciais de rochas mas não a própria utilização das rochas para ornamentação e revestimento.

IMPLICAÇÕES DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS PARA A CHINA

As exportações de rochas brutas para o complexo China - Hong Kong - Taiwan totalizaram US\$ 25,3 milhões em 2000 e US\$ 25,7 milhões em 2001, correspondentes respectivamente a 182.413,98 ton. e 189.641,18 ton., observando-se grande incremento da China e queda significativa de Taiwan.

Somente para a China, que pode ser hoje considerada o maior concorrente do Brasil no mercado internacional, foram exportados US\$ 9,18 milhões de rochas brutas em 2000 e US\$ 13,76 milhões em 2001, correspondentes respectivamente a 69.105,10 ton. e 99.797, 52 ton.

As exportações brasileiras de rochas brutas para a China em 2001 tiveram, assim, crescimento de 49,9% em valor e 44,4% em peso, sobre o ano 2000, já representando portanto 12,41% em valor e 12,93% em peso do total das exportações brasileiras de rochas brutas.

Em contrapartida, as exportações de rochas brutas para a Itália, no ano 2001, totalizaram US\$ 41,75 milhões e representaram 37,65% em valor das exportações brasileiras de rochas brutas, tendo recuado de um patamar de 42,74% no ano 2000. O recuo geral das exportações brasileiras de rochas para a Itália não está sendo compensado por outras modalidades de negócio, o que poderá/deverá enfraquecer as relações bilaterais no setor de rochas.

Nestes termos, as exportações de rochas brutas para a China evidenciam notável crescimento e já representaram 32,96% do valor das exportações para a Itália em 2001. As exportações de rochas brutas (essencialmente blocos de granito) para o complexo China – Hong Kong – Taiwan (US\$ 25,7 milhões em 2001) também evidenciam crescimento e representaram 61,56% do valor das exportações para a Itália.

Considerando-se que são desprezíveis as exportações de rochas processadas para o complexo China – Hong Kong – Taiwan, conclui-se que a histórica base exportadora de blocos para a Europa e sobretudo para a Itália, está se deslocando para a Ásia e sobretudo para a China.

Se este quadro não for revertido a China desempenhará doravante, em bases seguramente piores para o Brasil, o papel até agora representado pela Itália como principal destino de nossas exportações de blocos.

Tal situação compromete todas as expectativas brasileiras com o Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no mercado internacional, a menos que se quebre a tendência hegemônica da China tornando de fato competitivas as rochas brasileiras *Made in Brazil*.

RESULTADOS DA PRESSÃO DE OFERTA

Com a retração econômica mundial de 2001 e 2002 e conseqüente pressão de oferta no mercado internacional do setor de rochas, observa-se que o contínuo crescimento em peso das exportações brasileiras de rochas processadas, bem como o incremento da sua participação percentual em peso no total exportado, não tem permitido compensar a progressiva queda do seu preço médio e a expressiva diminuição das exportações de blocos, inviabilizando-se taxas mais significativas de aumento no valor de nossas exportações (vide Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1 - Evolução das Exportações Brasileiras de Rochas Processadas (%) – 1998 a 2002

Período	1998	1999	2000	2001	Jan-Jun 2002
Var. Peso	+15,1	+36,7	+45,5	+17,1	+23,5
Var. Valor	+23,6	+25,5	+32,3	+10,0	+14,6
Var. Preço	+7,3	-8,2	-8,5	-6,1	-7,2
Part. Peso	15,0	19,5	25,3	29,7	41,6
Part. Valor	43,9	49,9	56,4	60,2	69,8

Tabela 2 - Evolução das Exportações Brasileiras de Blocos de Granitos (%) – 1998 a 2002

Período	1998	1999	2000	2001	Jan-Jun 2002
Var. Peso	-0,7	-0,7	+3,8	-6,0	-26,2
Var. Valor	-4,3	-1,5	+1,3	-5,75	-23,1
Var. Preço	-3,6	-0,8	-2,3	+0,2	+4,2
Part. Peso	85,0	80,5	74,7	70,3	58,4
Part. Valor	56,1	50,2	43,6	39,8	30,2

Tabela 3 - Evolução das Exportações Brasileiras Totais (%) – 1998 a 2002

Período	1998	1999	2000	2001	Jan-Jun 2002
Var. Valor	+6,2	+10,4	+16,8	+3,1	-0,11

A desvalorização das rochas brasileiras no mercado internacional não foge nem à tendência de outros exportadores nem ao comportamento geral de outros produtos comerciais de base mineral (sejam *commodities* ou *specialties*), podendo ser atribuída principalmente a países que, como a China, buscam

competitividade a partir de uma agressiva e por vezes até irrealista política de preços.

Essa forma de pressão competitiva tem sido exercida sobretudo através de rochas processadas semi-acabadas, representadas por chapas de granito, e através de lajotas padronizadas de granito e ardósia. Em tal cenário, pode-se aventar que o processo de queda de preço das rochas processadas, vivenciado nos últimos três anos, perdure por ainda mais cinco anos, induzindo uma desvalorização complementar de até 15-20% sobre os preços atualmente praticados para a maior parte dos produtos comerciais.

Sendo as chapas de granito e as lajotas de ardósia os principais itens brasileiros de exportação no setor de rochas, atribui-se grande importância estratégica para um novo salto qualitativo do Brasil no mercado internacional. Ao par da efetiva consolidação da "Segunda Onda Exportadora", identificada com rochas processadas semi-acabadas, deve-se iniciar esforços para o ingresso do Brasil em sua "Terceira Onda Exportadora", envolvendo os produtos acabados e serviços. Tal segmento de atuação efetivamente agrega maior valor de comercialização aos produtos, além de encerrar as melhores perspectivas hoje vislumbradas para um incremento consistente do faturamento das nossas exportações.

ATENDIMENTO DE METAS DE EXPORTAÇÃO

Não se esperaria em uma conjuntura econômica nacional e internacional como a de 2001 e 2002, que o desempenho brasileiro no setor de rochas pudesse diferir do quadro até agora configurado, quando se observou uma queda da taxa de crescimento das exportações e uma certa desaceleração das vendas no mercado interno.

Tal como ocorreu em 1998, após a crise econômica dos países asiáticos, a atual retração do mercado de rochas afeta todos os países produtores e exportadores, e não apenas o Brasil. Diante das circunstâncias pode-se até sugerir como muito expressivas as exportações brasileiras do setor de rochas em 2001 e 2002.

Deve-se fechar o ano de 2002 com exportações entre US\$ 295 milhões e US\$ 310 milhões, o que representará variação de 5% a 10% sobre 2001. Não se espera que durante 2003 e 2004, período no qual transcorrerá a Fase II do PSI APEX-ABIROCHAS, se reproduza as dificuldades de 2001 e 2002.

É assim possível projetar a retomada da construção civil e a recuperação do comércio de rochas ornamentais nos mercados interno e externo, o que ocorreria, até por ação política dos governos, como resposta à crise de mercado de capitais. Nesse cenário as exportações brasileiras poderão atingir US\$ 330 milhões a US\$ 340 milhões, em 2003, e US\$ 380 milhões a US\$ 400 milhões em 2004.

Revelam-se verdadeiras as conclusões do documento "*Rochas Ornamentais no Século XXI*", tanto em relação à vulnerabilidade das exportações brasileiras de rochas processadas, muito concentradas no mercado norte-americano, quanto à necessidade de

se assumir maior competitividade frente a Índia e China, nossos principais concorrentes, no mercado internacional.

Reitera-se a demanda por uma ação articulada entre a iniciativa privada e o poder público, para a superação das atuais dificuldades do setor brasileiro de rochas. Reafirma-se neste contexto a importância dos programas institucionais de fomento, para os mercados interno e externo.

CONCLUSÕES

A curto prazo, tendo em vista maior competitividade frente a China e Índia, nossos principais competidores no mercado internacional, enfatiza-se a necessidade de adequação das linhas de crédito e uma ampla reformulação das bases tributárias, pois o setor de rochas ornamentais e de revestimento é constituído por pequenas e médias empresas, atualmente alijadas dos recursos disponíveis e com suas atividades prejudicadas pelos impostos e taxas vigentes.

A curto e médio prazos aponta-se como relevantes a modernização das marmorarias, como base para o fortalecimento do mercado interno e exportação de produtos acabados e serviços; a capacitação tecnológica da indústria brasileira de máquinas e equipamentos, visando sua adequação qualitativa e quantitativa de atendimento dos mercados interno e externo; e, a qualificação dos insumos e materiais de consumo do beneficiamento, para otimização da serragem e polimento de chapas e lajotas.

Uma das questões de maior interesse para o desenvolvimento do setor diz respeito à articulação dos arranjos dos arranjos produtivos locais (*clusters*), através da caracterização do perfil do mercado consumidor, da formulação de bases para criação de cooperativas de produtores/beneficiadores, da montagem de consórcios de exportação, da composição de centrais de matérias primas e centrais de beneficiamento e, da capacitação de centros de pesquisa para estudos de aproveitamento industrial de resíduos, caracterização tecnológica e diversificação de produtos comerciais, certificação de origem das rochas e aprimoramento de insumos.

Levantamentos efetuados para o setor no Estado de Minas Gerais evidenciaram grande capacidade de geração de emprego e renda, bem como caracterizaram as rochas ornamentais e de revestimento com um vetor efetivo de interiorização do desenvolvimento. Mais importante, estimou-se ser de apenas US\$ 12 a 13 mil o custo médio para geração de um emprego no setor.

Estudos recentes do Banco Mundial mostram que a cada US\$ 1 bilhão exportado gera-se de 50 mil a 70 mil empregos diretos. Considerando-se a projeção de 12% de incremento anual das exportações do setor de rochas, pode-se assim estimar a geração de no mínimo 15 mil a 22 mil empregos até o ano 2006. Segundo outras simulações, que prevêem crescimento mais acentuado e possível de participação de rochas processadas nas exportações,

o setor poderá gerar até 45 mil empregos no mesmo período.

Programas de fomento apoiados pela Agência de Promoção de Exportações – APEX estão sendo executados pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, buscando-se firmar bases competitivas para as rochas brasileiras “Made in Brazil”.

Conclui-se destacando não ser possível dissociar o desenvolvimento do setor, da capacitação tecnológica da indústria brasileira de máquinas, equipamentos e insumos, para lavra, beneficiamento e acabamento de rochas. Destaca-se ainda que o incremento consistente das exportações de rochas processadas e serviços será, em grande medida, decorrência do fortalecimento setorial no mercado interno.

BIBLIOGRAFIA

PEITER, C. & CHIODI FILHO, C. *Rochas Ornamentais no Século XXI: Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras*. Rio de Janeiro: CETEM/ABIROCHAS, 2001. 160 p., il.

ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE - BRASIL

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Eng^o de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT
ABIROCHAS – Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Bairro Aldeota – 60.120-002 – Fortaleza-CE
Fone: (85) 246-2600 Fax: (85) 246-0262 E_mail: abirochas@secrel.com.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma síntese de publicações técnicas oriundas de pesquisas e desenvolvimento de estudos realizadas pelas universidades e institutos de pesquisa, tendo como finalidade abordar alguns aspectos geológicos e técnicos-econômicos bem como um panorama da situação do setor de rochas ornamentais na região Nordeste do Brasil, onde procura-se ressaltar o pioneirismo dos Estados de Pernambuco, Bahia, Ceará e Paraíba mediante o levantamento de dados geológicos, os quais abordam o arcabouço geológico e seus aspectos relativos a tipologia e nomes comerciais das rochas ornamentais da região Nordeste, suas metodologia e tecnologias de produção primária, transformação e comercialização.

O Ceará e a Bahia são os Estados do Nordeste que possuem o maior parque industrial de beneficiamento de rochas ornamentais na região, com indústrias bem estruturadas, podendo ser comparadas, em nível de tecnologia, aos melhores projetos implantados no País. Também no Estado de Pernambuco esse segmento da cadeia produtiva de rochas ornamentais existe com diversas empresas. Na Paraíba e Alagoas há duas indústrias de beneficiamento em cada Estado, enquanto em Sergipe e no Rio Grande do Norte, ambos contam, com uma única unidade produtiva.

INTRODUÇÃO

A produção de rochas ornamentais tem como primeiro elemento determinante a vocação geológica de uma determinada região que por sua vez tenha gerado condições geológicas adequadas ao seu aproveitamento

A geologia do território brasileiro, em especial a região nordeste, é pródiga em ambiências propícias à existência de jazimentos de rochas ornamentais, o que evidencia uma ampla vantagem competitiva para o país, no mercado internacional, devido não só à excepcional diversidade dos tipos litológicos encontrados, como também pela grande variedade cromática e ocorrência de tipos de materiais raros e de alta cotação comercial.

Embora a utilização de rochas ornamentais seja uma tradição milenar, no Brasil, esta atividade teve um crescimento significativo nos últimos doze anos sendo portanto uma atividade de mineração relativamente nova no país, onde as pesquisas geológicas bem como as modernas técnicas de lavra e beneficiamento não atingiram ainda um alto desempenho para o setor.

A crescente participação das rochas ornamentais na economia brasileira e na sua pauta de exportações, ocorrida a partir de 1990, pode ser considerada como um dos acontecimentos mais marcantes da produção mineral do país. A região Sudeste e o Nordeste do Brasil, dispõe de uma extensa variedade de rochas para fins ornamentais, com grande potencial de comercialização, que contribui significativamente para o aumento da produção nacional, destacando-se no Sudeste os Estados do Espírito Santo e Minas Gerais; no Nordeste os Estados da Bahia, Ceará, Paraíba e Pernambuco.

Na região Nordeste, a Bahia é o principal produtor de granitos e de mármore, além de outros tipos de rochas ornamentais (travertinos, quartzitos, arenitos e conglomerados). Também no Ceará há uma produção significativa, principalmente de granitos, assim como na Paraíba e em Pernambuco. Nos Estados do Rio Grande do Norte, Alagoas e Piauí, a produção ocorre em menor escala. Enquanto que nos Estados de Sergipe e Maranhão, ainda não existe registrado a extração de blocos para rochas ornamentais.

Este extraordinário crescimento, além dos investimentos privados na exploração de novos depósitos, lastreou-se nos acontecimentos advindos dos trabalhos de pesquisa geológica iniciados na década de 80 pelas empresas estaduais de mineração do nordeste, com destaque para a CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, a Minérios de Pernambuco S.A, a Ceminas – Companhia Cearense de Mineração, CDRM – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba, dentre outras, e, na área federal, aos trabalhos de geologia básica desenvolvidos pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil e pelo DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral.

Embora o país não disponha de nível de conhecimento geológico suficiente de todo o seu território, em escala adequada, permitindo indicar sua real potencialidade mineral, a recente disponibilização à sociedade pela CPRM – do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente, escala 1:2.500.000, digital e estruturado em GIS (Geographic Information System) a partir de bases escalares 1:1.000.000, representa uma contribuição efetiva para o reconhecimento das áreas de maior potencial em rochas ornamentais. Além disto, o país dispõe de sínteses geológicas atualizadas e estruturadas em GIS, em diferentes escalas (1:1.000.000, 1:750.000, 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000) das diferentes províncias geológicas e regiões do Brasil.

Os Estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará foram os pioneiros, no Nordeste com os levantamentos de suas potencialidades de ocorrências geológicas para rochas ornamentais. Todos estes trabalhos possibilitaram, ao longo das duas últimas décadas, a formação de um amplo acervo de acontecimentos geológicos, além de propiciar a identificação de ambiências mais propícias às ocorrências de tipos litológicos comerciáveis e conseqüentemente, a geração de jazidas para exploração como rocha ornamental.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

Brasil

A integração geológico-metalogenética através desses estudos revela uma ampla diversidade geotectônica, cuja história evolutiva estende-se do Arqueano ao Recente. Sua evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A consolidação de seu embasamento e a conseqüente geração de jazimentos de rochas com fins ornamentais ocorreram de maneira progressiva e cíclica, em pelo menos 4 (quatro) eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano, Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico. Esses eventos favoreceram a consolidação dos núcleos de grande extensão de idade arqueana com fragmentos menores, envolvidos por faixas dobradas proterozóicas.

Do ponto de vista litoestrutural, o território brasileiro acha-se dividido em oito Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais. A Província Mantiqueira, contendo os estados do Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, possui jazimentos significativos em exploração, sendo responsável por 58% da produção nacional. A segunda em importância, com 30% da produção, a Província São Francisco é composta pelos estados da Bahia e Minas Gerais. Em seguida, vem a Província Borborema que, abrangendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e pequena porção norte da Bahia, responde por 10% da produção do país. As Províncias Tocantins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas Norte e Amazonas Sul contemplam apenas 2 % do total do país. No que concerne às Províncias do Paraná e Paraíba, apesar de no momento não registrarem produção de rochas ornamentais, a diversidade de sua geologia pressupõe a existência de sítios favoráveis à ocorrência deste importante insumo mineral.

O Arqueano acha-se representado por terrenos antigos, constituintes da infra-estrutura de dois extensos núcleos cratônicos, denominados de Amazônico e São Francisco, além de uma série de fragmentos menores, de composição gnáissico-migmatítica e migmatítico-granitóide, metamorfizados na fácies anfíbolito alto a granulito, onde dominam ortognaisses bandados de composição tonalito-trondhjemitó-granodiorítica com alternância de bandas máficas e félsicas. Essa associação litológica encerra um ambiente propício à ocorrências de

rochas ornamentais de alta cotação internacional, notadamente de leucogranitos (granitos brancos) e rochas verdes movimentadas (terrenos granulíticos).

Nordeste

Também no Arqueano, inseridas nos terrenos gnáissico-migmatíticos, ocorrem seqüências do tipo *Greenstone Belts*, caracterizadas por sedimentos imaturos e vulcanismo máfico e félsico, metamorfizados na fácies xistos verdes, sendo intrudidos por um cortejo de granitóides de composição variada, desde os tipos sódicos, tonalíticos a granodioríticos.

No que tange a granitos ornamentais, o baixo grau de recristalização metamórfica desta seqüência confere a tais rochas poucas propriedades para este uso. A exceção dos corpos de composição tonalítico-granodiorítica, resultantes dos processos de fusão parcial das seqüências vulcanossedimentares de baixo grau, cujo aspecto textural lhes sugere um bom aproveitamento para fins ornamentais, fato este exemplificado pelos Granitos *Brown Colonial*, *Snow Flocks*, e *Green Gabriela*, situados na região de laçu-Bahia.

Ainda associadas aos terrenos arqueanos, mais precisamente em zonas rifeteadas da crosta continental, têm-se seqüências metassedimentares paleoproterozóicas, contendo vulcanismo e sedimentos pelítico-psamíticos, metamorfizados na fácies xistos verdes a anfíbolito, contendo intrusões máfico-ultramáficas. Tais mafitos apresentam possibilidades de encerrar excelentes jazimentos de granitos ornamentais de tonalidades escuras, notadamente preta e verde-escura.

O Paleoproterozóico está representado por faixas móveis, envolvendo os núcleos e fragmentos cratônicos primitivos de idade arqueana. São resultantes da agregação de continentes pre-existentes, durante o ciclo Transamazônico (1,85 Ga), sendo constituídos por terrenos metamórficos de alto grau (fácies anfíbolito superior a granulito). Em função do intenso regime tectônico compressivo atuante nestes cinturões, notadamente nas zonas sujeitas à subducção, teve início a reagregação das massas continentais, produzindo deformações nas rochas.

A culminação de tais processos resultou no desenvolvimento de expressivos arcos magmáticos, caracterizados por uma associação plutônica calcialcalina, contendo tipos dioríticos, gabros, tonalitos, charnockitos e granodioritos. Tais cinturões, constituídos principalmente por gnaisses, migmatitos e ortognaisses de composição variada, encerram, juntamente com os núcleos e fragmentos cratônicos antigos, uma grande variedade de tipos litológicos, com notória perspectiva de aproveitamento para fins ornamentais.

Os terrenos gnáissicos de alto grau, associados com os termos charnockíticos, granulíticos e anortosíticos, representam áreas de reconhecida vocação para a ocorrência de rochas de alto valor comercial.

Exemplos desses terrenos são identificados em ambiência tectono-geológica, reconhecida nas

Províncias São Francisco no Estado da Bahia e Borborema no Estado do Ceará (Maciço de Santa Quitéria) e Maciço Pernambuco-Alagoas, constituindo áreas com notória vocação para materiais nobres tipo exportação, formando litótipos exóticos sem equivalentes nos mercados europeu e norte-americano. Como exemplo de tais jazimentos, no Nordeste, citamos o *Verde Boa Nova* e o *Verde Dourado*, ambos na Bahia, além dos brancos *Kashmir* e *Cacatua Bahia*, encontrados no território homônimo; as ocorrências de rochas esbranquiçadas dos tipos *Branco Ceará*, *Super Branco*, *Branco Cristal*, *Branco Cotton*, *Branco Santa Quitéria*, *Branco São Paulo* e *White Bee*, explorados no Ceará.

Associados aos migmatitos e ortognaisses migmatizados, têm-se os denominados granitos tipo fantasia, que constituem litótipos de estruturas complexamente dobradas, decorrentes de um avançado estágio de deformação tangencial, que lhes empresta uma feição designada comercialmente como “movimentada”. Dentre as rochas desta família atualmente lavradas e comercializadas, destacam-se o Granito *Mogno Bahia*, o *Kinawa Bahia* e o *Macajuba*, produzidos em Ruy Barbosa, e o *Tropical Bahia*, extraído em Monte Santo, todos na Bahia, além dos granitos movimentados de cor rosa denominados *Rosa Imperial* e *Relíquia*, lavrados em exposições do Complexo Belém do São Francisco, em Pernambuco. Ainda associados a estes cinturões, têm-se os ortognaisses migmatizados comercialmente conhecidos como *Red Symphony*, *Yellow Symphony*, *Coliseum Gold* e *Green Coliseu*, lavrados no Ceará.

Relacionados a esta fase de cratonização, à qual foi submetida a crosta, notadamente as áreas de domínio cratônico e dos cinturões móveis de alto grau, têm-se intrusões de sienitos, gabros, piroxenitos, anfíbolitos, anortositos e serpentinitos. Este evento, datado do Paleoproterozóico, foi responsável pelas formações de rochas com elevado interesse comercial, exemplificadas pelos sienitos aflorantes em Riacho de Santana e conhecidos pelo nome de Granito *Café Bahia*.

Ainda relacionados a esta fase, têm-se os granitos verdes oriundos de magmas charnockíticos, aflorantes na região de Jequié-Bahia e em exposições de fragmentos cratônicos detectados nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba (Província Borborema).

Com a estabilização cratônica, iniciou-se no Mesoproterozóico um novo ciclo de sedimentação, acompanhada subordinadamente de vulcanismo. Tal sedimentação processou-se em áreas periféricas e intracratônicas, cuja evolução resultou nos cinturões móveis Meso a Neoproterozóicos e nas faixas de dobramentos de idade brasileira (0,9 a 0,5 Ga).

Tais terrenos acham-se expostos em amplas áreas do Nordeste, Sul e Centro-Oeste do Brasil, abrangendo diversas províncias geológicas, tais como: Borborema, São Francisco, Mantiqueira e Tocantins. Constituem-se de extensos pacotes, contendo intercalações de vulcânicas máficas e riolitos com sedimentos finos e grossos, levemente

metamorfizados, com variações granulométricas que vão desde o filito ao metaconglomerado.

Em termos de aproveitamento ornamental, destacam-se neste contexto, os metarenitos de cor rosa, oriundos da região de Lençóis e comercializados com o nome de *Rosa Bahia*, os riolitos com quartzo azulado de Paramirim, conhecidos pelo nome de *Azul Paramirim*, e *Azul Quati*, além dos internacionalmente conhecidos dumortierita quartzitos, negociados com a denominação de *Azul Macaúbas*, *Azul Boquira* e *Azul Imperial*.

Relacionados ao mesmo período, mas associados às faixas dobradas, têm-se os denominados *Tropical Fashion*, *Tropical Gauguin*, *Verde Rey Imperial*, *Marinace* e *Verde Marinace*, extraídos a partir de metaconglomerados aflorantes nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia. Ainda pertencentes a esta fase, tem-se a formação de ardósias e quartzitos da região de Papagaio em Minas Gerais, que constitui o maior produtor nacional de pedras naturais, seguidos dos estados nordestinos.

Durante o Neoproterozóico, verifica-se um período de estabilização tectônica na plataforma brasileira, favorecendo a deposição de sedimentos de ambiência marinha marginal em zonas pericratônicas, originando as faixas de dobramentos marginais, constituídas por seqüências metassedimentares, com denominações litoestratigráficas diversas. Como exemplos de rochas ornamentais, resultantes deste contexto geológico, tem-se o mármore rosado designado comercialmente de *Imperial Pink*, *Rosa Patamuté*, aflorantes respectivamente em Itapebi e Patamuté no estado da Bahia, além dos mármore brancos e cinza-esbranquiçado do Espírito Santo e dos calcários pretos catalogados em Frecheiras-Ceará, Irecê na Bahia e em áreas de Goiás (Província Tocantins).

Ainda durante o Neoproterozóico, ocorreram intensos processos de granitização ao longo da Plataforma Brasileira (Província Mantiqueira), fato este que resultou na formação de inúmeras jazidas de rochas ornamentais, distribuídas em todo o território nacional (Bahia, Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul).

Também associados ao mesmo evento, têm-se ainda granitos em Goiás (Província Tocantins), além dos granitos *Vermelho Ventura* e *Ipanema*, lavrados em Pernambuco, e dos granitos *Vermelho Filomena*, *Verde Meruoca* e *Verde Ceará* extraídos na serra da Meruoca, no Estado do Ceará (Província Borborema).

Posicionados neste período, têm-se os “cumulatus” de melassienito lavrados em Bom Jardim, Pernambuco, e conhecidos internacionalmente como Granito *Marrom Imperial*, além de suas encaixantes formadas por quartzo sienitos e negociadas no mercado como *Lilás Imperial*.

Dados do final do Neoproterozóico, têm-se as intrusões gabro-noríticas da Província Borborema (Casserengue-Paraíba), que resultaram no granito

Preto São Marcos, equivalente a outros tipos similares do país como do tipo *Preto São Gabriel* e *Tijucas*, aflorantes na Província Mantiqueira.

Dados do final do Proterozóico, mais precisamente da fase pós-tectônica do ciclo Brasileiro, afloram nas regiões Nordeste e Sudeste do país, boas exposições de rochas de textura grossa, constituindo corpos de granitos pegmatóides e de pegmatitos homogêneos. Estes litótipos vêm sendo atualmente explotados para fins ornamentais, constituindo tipos de elevada cotação internacional, devido principalmente à grande dimensão dos seus constituintes minerais, aliado ao seu aspecto heterogêneo e multicolorido de excelente padrão estético-decorativo. Como exemplos destes materiais, têm-se o *Rosa Algodão* e o *Florença*, extraídos na Paraíba, além do *Branco Fuji* e *Juparaná Montiel*, lavrado em pedreiras localizadas no Rio Grande do Norte e Ceará, respectivamente.

Associados a esta fase da evolução da Plataforma Brasileira, mais precisamente em zonas de rifteamento, em um ambiente de intraplacas tectônicas e relacionados a magmas subsaturados em sílica, têm-se corpos de sodalita-nefelina sienitos, conhecidos internacionalmente como *Azul Bahia* e catalogados em Itaju de Colônia e Itarantim na Bahia. Dados desta fase, tem-se ainda os diques de dacitos azulados, conhecidos como granito tipo *Azul Sucuru*, oriundos de Serra Branca na Paraíba.

Durante o Fanerozóico, a Plataforma Brasileira foi submetida a um regime de extensão crustal, que deu origem a amplas bacias sedimentares intracratônicas, geradas a partir do Ordoviciano. No Juro-Cretáceo, seguiu-se a formação de estreitas bacias tipo rifte, cuja gênese acha-se ligada aos esforços tensionais, que culminaram com a separação das massas continentais africana e sul-americana, e a conseqüente formação do Oceano Atlântico Sul.

Essas bacias acumularam espessa seqüência de sedimentos clásticos e carbonáticos, cujas litologias apontam para um baixo aproveitamento para fins ornamentais, com exceção dos calcários da Formação Jandaíra, aflorantes em parte da Bacia do Apodi, mais precisamente no Estado do Ceará, onde são explotados os mármore *Crema Porto Fino*, *Bege Capri* e *Bege San Marino* e os calcários laminados da Formação Santana, que são lavrados comercialmente com o nome de *Pedra Cariri*, todas no Estado do Ceará.

Posteriormente, os depósitos continentais de idade terció-quadernária formaram extensos tabuleiros, além de acumulações aluvionares e eólicas restritas aos vales atuais. Como representante deste período, ocorrem os calcários travertinos da Formação Caatinga, originados a partir do retrabalhamento fluvial dos carbonatos existentes na Chapada Diamantina. Esses mármore são conhecidos nacionalmente como *Bege Bahia* ou *Mármore Travertino* e constituem uma das mais importantes e tradicionais frentes de exploração de mármore do país.

ASPECTOS TECNOLÓGICOS

As atividades de mineração do segmento de rochas ornamentais participa diretamente de toda a cadeia produtiva do setor, desde a pesquisa mineral, incluindo o conhecimento geológico dos depósitos visando uma correta escolha do método e tecnologia de lavra a ser utilizada na mina, passando pela extração e beneficiamento. Assim para uma adequada pesquisa e investigação do tipo geológica, mínero-petrográfica e tecnológica são importantes a realização de estudos antes e durante a etapa de lavra, com a finalidade de definir ao máximo, a presença e distribuição espacial das descontinuidades (falhas, veios, fraturas de resfriamento e/ou tectônicas, juntas de extratificação, etc.), bem como os defeitos das rochas (anomalias e diferenciações de composição, presença de elementos de alteração, porosidade, microfaturamento dos cristais, etc.), capazes de influenciar diretamente na comercialização do material em questão. De modo geral, em um maciço rochoso é notado a presença de famílias distintas cujos planos de descontinuidade são as vezes ortogonais entre si, e em outros casos não. As distancias entre tais descontinuidades são aquelas que devem definir o volume dos blocos que podem ser aproveitados no maciço rochoso, além de que, o tipo de jazida deve ser a condição para uma correta escolha do método de lavra e da tecnologia utilizada na pedreira. No entanto , tais procedimentos na forma de encarar o problema , são na maioria dos casos desconsiderados por parte dos empresários do setor, demonstrando na maioria das vezes sua preferência em confiar na própria intuição e inventividade. Isto aconteceu no nordeste, onde a maioria dos detentores de Alvarás de Pesquisa, e ou mesmo de Portarias de Lavra, por não ter conhecimento dos riscos que a atividade de mineração proporciona, com a falta de pesquisa mineral, partiram para soluções imediatas de lavra. De um modo geral , verifica-se no nordeste um grande numero de empresários, cuja preocupação primordial foi montar a indústria de beneficiamento (serragem, corte e polimento) sem dar ênfase aos trabalhos de pesquisa das jazidas, quando deveria ter sido o contrário. Assim, muito deles abriram a pedreira de seus depósitos minerais de modo amadorístico, pensando que qualquer grande afloramento de rocha era o suficiente para se ter uma jazida, desconhecendo por completo a problemática e as surpresas geológicas que a natureza proporciona nestas ocorrências. A falta de pesquisa mineral, aliada a ignorância dos conhecimentos técnicos de lavra, levou alguns titulares de áreas a prejudicar o aproveitamento do jazimento de grande potencial de qualidade e mercado.

Na região Nordeste, a Bahia é o principal produtor de granitos e de mármore, além de outros tipos de rochas ornamentais (travertinos, quartzitos, arenitos e conglomerados). Também no Ceará a uma produção significativa, principalmente de granitos, assim como na Paraíba e em Pernambuco. Nos Estados do Rio Grande do Norte, Alagoas e Piauí, a produção ocorre em menor escala. Enquanto que nos Estados de Sergipe e Maranhão, ainda não existe registrado a extração de blocos de rochas ornamentais.

Lavra

As visitas realizadas às regiões produtoras de blocos nos Estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte e Piauí, permitem afirmar que o aprimoramento da técnica de extração encontra-se num estágio tecnológico de evolução, embora ocorra em alguns desses Estados, de forma muito lenta. Entretanto, o aprendizado inicial foi muito oneroso e desgastante ao longo dos trabalhos desenvolvidos, no decorrer dos últimos anos.

Hoje observa-se o avanço tecnológico que ocorreu na atividade de extração, principalmente na Bahia e no Ceará, onde a lavra de maciços assume posição dominante, com um acentuado aumento da produção de blocos. Esse tipo de lavra, embora eventualmente tenha custos superiores aos incorridos na lavra, em matacões, permite melhor planejamento, maior racionalização da produção e melhor padronização do produto obtido. Um número crescente de geólogos na pesquisa mineral e de engenheiros de minas na lavra vem atuando no setor. Estão sendo utilizadas técnicas mais apropriadas de geologia de exploração e de desmonte de rochas nas jazidas. Com essas medidas há uma redução de danos nas frentes de lavra e nos blocos e, conseqüentemente, uma redução dos custos, aumento da recuperação e da vida útil das pedreiras. Os métodos utilizados na extração incluem o desmonte com perfuração e uso de explosivos, perfuração contínua sem uso de explosivos, corte com maçarico (flame jet), corte com fio diamantado, corte com fio helicoidal, uso de massa expansiva e abertura através de cunhas. No caso dos mármore da Bahia, o fio diamantado está substituindo o fio helicoidal. No caso dos granitos do Ceará, o fio diamantado está sendo crescentemente utilizado substituindo, principalmente, a perfuração com explosivos e o flame jet.

Por outro lado, a produção de blocos no Ceará e Pernambuco não é suficiente para o abastecimento das usinas de beneficiamento dos respectivos Estados. Isto se deve ainda, em grande parte, a falta de conhecimento geológico dos depósitos, do qual depende a preparação da jazida para o desenvolvimento da lavra. Por ocasião das visitas técnicas realizadas às pedreiras de granitos da Bahia, Ceará, Paraíba e Pernambuco, verificou-se que as mesmas carecem de pesquisa mineral de detalhe nas frentes de lavra para associar as características da jazida com o método e tecnologia adequada principalmente para a lavra de maciços rochosos.

Beneficiamento

No Nordeste a maior capacidade de beneficiamento de rochas ornamentais encontra-se instaladas no Ceará e na Bahia. Também em Pernambuco esse segmento da cadeia produtiva conta com diversas empresas. Na Paraíba e em Alagoas há duas indústrias de beneficiamento, por Estado; enquanto em Sergipe e Rio Grande do Norte, contam com uma única unidade produtiva, em cada estado.

O Ceará é o Estado do Nordeste que mais investiu na implantação de indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais, bem estruturadas, podendo ser comparadas, em nível de tecnologia, aos melhores projetos implantados no País, porém com algumas delas mal gerenciadas. Aliado à isso, a maioria das empresas foram mal assessoradas tecnicamente nos seus projetos, cometendo erros que passaram despercebidos pelos órgãos financiadores, como SUDENE e BNB. A exemplo do Estado de Pernambuco que, em alguns casos, não dispunham de jazida adequadamente pesquisada ou de contratos que garantissem o fornecimento de matéria-prima com qualidade, quantidade e boa aceitação no mercado para abastecer as indústrias implantadas. Atualmente, existe um amontoado de indústrias, algumas de médio porte, com as atividades paralisadas, outras até mesmo sem ter sido concluídas. No Ceará, embora inicialmente, tem ocorrido alguns problemas, semelhante ao Estado de Pernambuco, atualmente todas as indústrias estão em funcionamento: as pertencentes ao grupo, GRANOS/IMARF/IMBRASMA (capacidade de produção 39.000m²/mês de chapas), GRANDON (5.000m²/mês), CIGRAMA (10.000m²/mês), CAPIVARA (12.000m²/mês), MAFORT (5.000m²/mês) e MONTIGRAN (3.000m²/mês) .

O Estado de Pernambuco, no início da década de 90, observando a evolução que ocorria no setor de rochas ornamentais dos outros Estados, retomou as ações. A indústria pioneira de Pernambuco pertence a minérios Bom Jardim S/A, estando equipada com quatro teares (capacidade de produção 5.000m²/mês de chapas). No ano de 1993, foi implantado o polo graniteiro de Bezerras e Belo Jardim seguindo um modelo diferente dos demais Estados (Ceará, Paraíba e Bahia). As sete indústrias implantadas têm projetos similares, podendo ser classificadas como unidades de pequeno porte (dois teares com capacidade total de produção 3.000m²/mês de chapas), com espaços físicos projetados para uma evolução de porte médio. Hoje há uma situação diferente do Estado do Ceará e somente parte dessas indústrias estão em pleno funcionamento (BRICON, FUSTE e PERGRAN). Existe também a GRANEX empresa instalada nas proximidades do porto de SUAPE, no município do Cabo, destacando-se como a mais nova e moderna indústria do Estado de Pernambuco (capacidade de produção 8.000m²/mês de chapas).

A Bahia vem ocupando, nos últimos anos, posição de destaque no mercado de rochas ornamentais, apesar da sua produção ser ainda fundamentalmente na forma de blocos, onde observa-se a mobilização empresarial, para dotar o Estado de instalações industriais de beneficiamento com tecnologias modernas, o que vai permitir a elaboração de produtos de melhor qualidade e mais competitivo com o mercado de rochas para revestimento. A empresa Bege Bahia Mármore situada na cidade de Jacobina, é um exemplo de indústria de porte médio em atuação no Estado. Ela iniciou suas atividades em 1978, extraindo blocos de mármore, e a cerca de dez anos verticalizou-se adquirindo a unidade de beneficiamento. Existe ainda na Bahia a PEVAL que dispõe de equipamentos

modernos (capacidade de produção 15.000m²/mês de chapas), conta com suporte de suas pedreiras em lavra, que fornecem matérias-primas a sua indústria e também adquire materiais de terceiros, dependendo das necessidades. A FEMAG/ICESA é umas das indústrias pioneiras no Estado, tendo iniciado suas atividades em 1960, como marmoraria, chegando à etapa de serragem nos anos 70 (capacidade de produção 15.000m²/mês de chapas), e passando a exportadora de blocos em 1994. Esta é Portanto, uma industria que pode ser chamada de evolutiva, modernizando-se progressivamente ao longo do tempo, onde verticalizou a sua produção.

O Estado da Paraíba conta, atualmente com duas empresas que atuam na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, a POLIGRAN (capacidade de produção 7.000m²/mês de chapas) e FUJI (capacidade de produção 7.000 m²/mês). Ambas as empresas estão instaladas em Campina Grande e opera com teares italianos, com capacidade plena em função da produção de materiais provenientes de suas próprias jazidas e de terceiros.

Em Alagoas existem as empresas GRANORDESTE com capacidade de produção de 12.000m²/mês de chapas e/ou ladrilho e a MARMOGRAN (6.000m²/mês). Em Sergipe existe instalada a empresa FLAMA de origem do Estado da Bahia que beneficia seus materiais proveniente de outros Estados que tem uma capacidade instalada de 5.000m²/mês de chapa. No Estado do Rio Grande do Norte existe uma industria de beneficiamento muito antiga com capacidade de 3.000m²/mês de chapa que estava paralisada recentemente.

Quadro Setorial Nordestino

Conforme levantamento realizados em campo, bem como compilação de dados constantes na bibliografia consultada ilustra-se o quadro setorial nordestino para a produção de cerca de 130 tipos comerciais de rochas e suas variedades, entre, granitos, mármore, quartzitos, arenitos, conglomerados e materiais do tipo pedra Morisca e Cariri, entre outras rochas de 300 jazidas em atividade. Encontra-se registrados 160 empresas mineradoras (micro, pequena e grande porte) e 25 empresas de beneficiamento de blocos com quase 110 teares instalados. Para trabalhos de acabamento final e aplicação cerca de 360 marmorarias instaladas no Nordeste. O quadro a seguir apresenta os dados gerais de situação do setor de rochas ornamentais dos Estados do Nordeste do Brasil. (Tabela 1)

TABELA 1 - Produção por Estados do Nordeste e Tipos de Rochas - Base 2000 Estimada

Produção/Tipo	BA	CE	PB	PE	AL	RN	PI	TOTAL
Produção t/ano	490.000	180.000	63.000	47.000	15.000	13.000	4000	812.000,00
Total %	60,0	22,0	8,0	6,0	2,0	1,5	0,5	100
Granitos	254.800	120.000	63.000	47.000	15.000	5.200		505.000,00
Total %	50,5	24,0	12,5	9,0	3,0	1,0		100
Mármore	122.500					7.800		130.300
Total %	94,0					6,0		100
Quartzito Maciço	63.700							63.700
Total %	100							100
Arenito	49.000							49.000
Total %	100							100
P.Cariri		60.000						60.000
Total %		100						100
Pedra Morisca							4000	4000
Total %							100	100

Fonte: Pesquisa de campo

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As condições geológicas presentes nos Estados da região Nordeste do Brasil, favorecem a existência de grande variedade de rochas ornamentais de boa qualidade e elevado padrão estético. Entre os Estados da região, destacam-se a Bahia, Ceará e Pernambuco, onde o desenvolvimento do setor está mais avançado. Também na Paraíba registra-se um bom potencial de crescimento do setor.

No Nordeste, o Ceará e a Bahia se destacam como o principal produtor de blocos de granito e mármore. Na Bahia e no Ceará há uma produção importante de blocos de granito, porém aquém de sua capacidade para abastecer as indústrias instaladas, seguido de Pernambuco e Paraíba.

A grande maioria dos detentores de Alvarás de Pesquisa, ou mesmo de Portarias de Lavra, partiu para a realização de lavra experimental dos depósitos, sem fazer a pesquisa mineral necessária para seu conhecimento o que levou alguns titulares de área a prejudicar o aproveitamento desses jazimentos. Apesar disso, constata-se uma evolução significativa da tecnologia de lavra e uma maior conscientização da importância da pesquisa geológica de detalhe como instrumento indispensável ao planejamento de abertura de frentes de lavra nas pedreiras.

Verifica-se a necessidade de absorção e aplicação de conhecimentos técnicos e científicos, no que se refere aos problemas de identificação das reservas geológicas, a adequação de métodos de lavra mais apropriado à exploração das jazidas, formação de recursos humanos nos diferentes níveis, valorização dos materiais, garantia de qualidade, aliadas a uma política comercial eficaz e abrangente.

De modo a satisfazer as solicitações de mercado em termos competitivos se faz necessário que as empresas de mineração adotem metodologias de lavra mais eficientes, com o aproveitamento do material que apresente maior integridade e homogeneidade, intensificando assim, a lavra nas reservas dos maciços rochosos.

Recomenda-se o desenvolvimento de um trabalho de conscientização nas empresas do setor, enfocando a necessidade da realização de pesquisas geológicas mais detalhadas, destacando a importância do incentivo às universidades, para estudos de pesquisa e desenvolvimento na área de rochas ornamentais.

Promover, através dos sindicatos do setor em parceria com os governos federal e estaduais intercâmbio técnico-científico com instituições de renome internacional, trazendo especialistas de notório conhecimento, na área, os quais possam contribuir para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais do nordeste.

Do ponto de vista da lavra, é importante o aumento na produção de blocos, de modo a atender a capacidade instalada nas indústrias de

beneficiamento, principalmente nos Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco. Para tanto, é importante que haja maior difusão industrial da tecnologia de fio diamantado; pois esta técnica além de aumentar a produção de blocos na mina, evita problemas com o meio ambiente se comparado com as outras tecnologias de lavra.

Recomenda-se a realização de “workshops”, feiras regionais, seminários, cursos e encontros nacionais e regionais envolvendo técnicos e professores de instituições públicas e privadas com objetivo de estabelecer um fórum de discussões técnicas, bem como, políticas de promoção estratégias de “marketing” junto aos empresários da construção civil, arquitetos e decoradores visando à valorização das rochas ornamentais frente a outros materiais de sua concorrência.

Criação do centro de excelência em rochas ornamentais, a nível nacional visando a melhoria dos conhecimentos geológicos de detalhes na lavra de maciços, a caracterização tecnológica das rochas, o desenvolvimento de insumos e aperfeiçoamento de processos, estudos técnicos de meio ambiente, certificação de produtos de acordo com o sistema da qualidade, formação e treinamento de recursos humanos na área, bem como assistência técnica e serviço de apoio tecnológico.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS; CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil, Rio de Janeiro, versão 01, agosto 2002, CD-ROM.

BRAZ PEREIRA E.; AMARAL, M. **Situação atual do setor de rochas ornamentais do nordeste**. V.5, Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi da Federação das Indústrias do Estado do Ceará, Fortaleza, 1997, 149p.

CARVALHO, O. **Panorâmica atual do setor nordestino de rochas ornamentais**, Fortaleza, Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa da Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, Fortaleza, 1998, 54p.

COSTA ROBERTO, F.A. **Rochas ornamentais do Ceará. Dissertação de Mestrado**, Fortaleza, 1998, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998, 224p.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Catálogo de rochas ornamentais do Ceará, Fortaleza, Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, março 2002, CD-ROM.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Catálogo de rochas ornamentais da Bahia**, Salvador, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral da Secretaria de Indústria, Comércio e Turismo do Estado da Bahia, Salvador, abril 2002, CD-ROM.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Catálogo dos granitos de Pernambuco**, Recife,

Minérios de Pernambuco S.A, Secretaria de Indústria Comércio e Minas do Estado de Pernambuco, Recife, 1987,109p.

MAGALHÃES, A, C, F. **Rochas ornamentais da Bahia**, Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia, Salvador,1997,84p.

MELO, K, E V; CASTRO, L, M. **Avaliação econômica dos granitos do Estado do Ceará**, Fortaleza, Companhia Cearense de Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio do Estado do Ceará, Fortaleza, 1989,114p.

PAIVA, I, P; BARBOSA, A, J. Mapa de atratividade econômico-geológica para rochas ornamentais. I SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, Olinda/PE, 1998, **Anais**, p.94-100.

PEITER, C, C; CHIOLDI FILHO,C; VIDAL, F, W, H; CARANASSIOS, A. **Rochas Ornamentais no Século XXI**, Centro de Tecnologia Mineral/Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Rio de Janeiro/RJ, 2001, 160p.

SILVEIRA, J, C; DIAS NETO, B. **Cadastro das pedreiras de rochas ornamentais do Estado da Bahia**, Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais da Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia, Salvador, 1996, 68p.

VIDAL, F.W.H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará. Dissertação de Mestrado**, São Paulo, 1995. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995,178p.

VIDAL, F.W,H; COSTA ROBERTO, F.A. Rochas ornamentais do Ceará: geologia e caracterização tecnológica. I SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, Olinda/PE, 1998, **Anais**, p.101-109.

VIDAL, F.W,H. **Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará. Tese de Doutorado**, São Paulo, 1999. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999,173p.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA NA LAVRA DE ROCHA ORNAMENTAL – GRANITO MARROM GUAÍBA / RS

*Júlio César de Souza*¹ e *Luis Carlos Bosi Tubino*²

¹Eng. de Minas, DSc., Prof. Adj., DEMINAS/UFPE – Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901 – Recife – PE

E-mail: jcsouza@npd.ufpe.br

²Geólogo, MSc., SENAI/RS – E-mail: tubino@maua.senai.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma avaliação econômica realizada na pedreira de granito ornamental Marrom Guaíba, localizada no município de Cachoeira do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, onde foram definidos os insumos necessários à produção de blocos e determinado o custo direto de produção (custo de lavra).

Com os dados de custos e receitas advindas da venda de blocos em bruto pode-se desenvolver uma análise econômica com a determinação dos custos diretos e indiretos, ponto de equilíbrio, fluxo de caixa de operação e cálculo dos critérios de decisão financeiros (valor presente líquido e taxa interna de retorno).

INTRODUÇÃO

No presente trabalho é apresentada uma avaliação dos custos de extração na pedreira de rocha ornamental do granito Marrom Guaíba, localizada no distrito do Piquiri, município de Cachoeira do Sul no Estado do Rio Grande do Sul. Essa avaliação foi realizada durante o período de um ano (entre 1997 e 1998) que teve como objetivos dos trabalhos: a otimização da lavra de pedreira, sendo realizado em parceria pelo SENAI-RS e a empresa GRANISUL Indústria e Comércio de Minerais Ltda.

Segundo Jost et alli (1985), o Sienito Piquiri é um plutonito de área aflorante total com aproximadamente 120 km², localizado a cerca de 60 km a Sudeste da cidade de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, e com forma semelhante a de uma ferradura com concavidade voltada para Sudeste. Esta unidade compreende termos petrográficos que vão desde Álcali-Sienitos à Álcali-Granitos, e possui granulação decrescente do centro para os bordos.

Além do corpo principal, Mexias et all (1983), rochas textural e composicionalmente similares são também encontradas em massas menores nas regiões a Norte e Nordeste da cidade de Encruzilhada do Sul.

De acordo com Kuhn et all (1983) e Kronbauer et all (1983), o corpo principal do Sienito Piquiri tem a forma de uma ferradura com concavidade voltada para Sudeste. No interior da reentrância da ferradura ocorre um granito grosseiro folheado onde a presença de sienito em corpos insulares de formato variado e área individual de algumas dezenas de metros quadrados, a abundância de diques de traquito no granito, a granulação fina dos corpos insulares e os efeitos de recristalização do granito pela intrusão sienítica, sugerem a continuidade do sienito em sub-superfície, o que permite atribuir-lhe uma forma global circular, parcialmente exposta (Figura 1).

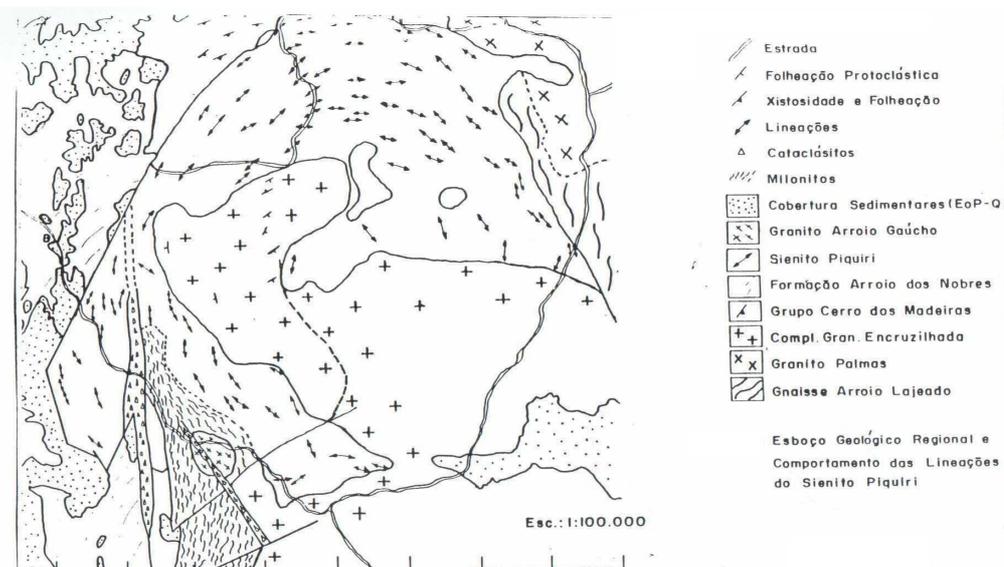


FIGURA 1 – Aspecto Geral das Feições Geológicas do Sienito Piquiri – Cahoeiro do Sul - RS

A variedade comercial extraída na área do Sienito Piquiri é conhecida comercialmente por granito Marrom Guaíba, obtendo-se basicamente dois tipos de blocos, em função da qualidade cromática e presença de defeitos petrográficos e/ou estruturais (xenólitos, manchas vermelhas, lisos, concentração de máficos):

a) Bloco de primeira - bloco de material homogêneo, granulação média a grossa; sem presença de xenólitos, lisos ou manchas vermelhas; esquadrejamento perfeito de acordo com especificações do mercado; sendo comercializados na sua grande maioria para o exterior (Ásia) a um preço FOB - Porto de Rio Grande de aproximadamente 600,00 US\$/m³.

b) Bloco de segunda - bloco de material relativamente homogêneo; granulação média a grossa; presença de pequenas manchas e alguns xenólitos; esquadrejamento relativamente bom; sendo comercializados no mercado interno (principalmente RS) a um preço FOB - mina de aproximadamente 300,00 US\$/m³.

De acordo com os trabalhos de Souza (1997), encontra-se na área da pedreira da empresa GRANISUL no Cerro dos Almeida (figura 2), cerca de 15 frentes de lavra, sendo que destas, cerca de 13 encontram-se abandonadas ou com as atividades extrativas suspensas e apenas duas ainda persistem em operação. Os principais motivos que levam a interrupção nos trabalhos de lavra são a presença de intenso fraturamento vertical e horizontal (Figura 3), ocorrência de rocha alterada, problemas na granulação e cromaticidade da rocha e aparecimento de concentrações de minerais máficos (xenólitos) na matriz sienítica.



FIGURA 2 - Visão geral da área de extração – Sienito Piquiri



FIGURA 3 - Detalhes do fraturamento vertical e horizontal na área da pedreira

A forma da frente de lavra da pedreira varia em função da área disponível, relevo, e tipo de extração: maciço ou matacão. Para a lavra de matacão o método tradicional é com a utilização de fogo raiado (figura 4), fazendo-se o fatiamento do matacão em função de sua forma e tamanho. A extração no maciço (figura 5) é realizada preferencialmente através de bancadas altas em frentes com forma aproximada de “L” e, mais raramente, em forma de “U”. O comprimento da frente varia em função das características do maciço sendo geralmente de 15 m (frentes novas) até 50 m (frentes mais antigas e com maior tempo de operação).



FIGURA 4 - Detalhe da abertura de matacões superficiais



FIGURA 5 - Detalhe da operação de furação com quarry-bar no maciço rochoso

METODOLOGIA

Para desenvolvimento da avaliação econômica e de custos da pedra de granito ornamental Marrom Guaíba foram realizados levantamentos dos custos operacionais da empresa e do custo de aquisição e depreciação dos equipamentos de lavra. Com esses dados pode-se definir os custos de capital e operacional, individualizar os custos fixos e variáveis e, com os dados de produção e vendas, determinar os custos de produção bem como a rentabilidade geral do empreendimento.

Composição do Custo Direto de Produção - Pedreira de Marrom Guaíba

Produção de Blocos: **2.193,20 m³**
 Produção Média Mensal: **182,77 m³**

Número de Funcionários da Pedreira: **32**

Produtividade: 2.193,20 m³ / 32 homens / 12 meses / 20 dias = **0,29 m³/homem/dia**

Custo operacional

1) Óleo Combustível e Lubrificante
 Óleo diesel, óleo 10 hidráulico, óleo 30, óleo 68 DTE
 26. Óleo Lubrax 15 W 40, óleo LMO 527 Mobil e graxa.
 Custo: R\$ 4.000,00 / mês => 48.000 R\$/ano

2) Rebolo 152,4 x 76,2 x 31,75 mm, para afiação de brocas:
 Custo: R\$ 1.000,00 / mês => 12.000 R\$/ano

3) Brocas de perfuração
 Brocas: 0,40 ; 0,80 ; 1,20 ; 1,60 ; 2,40 ; 3,20 ; 4,00 ; 4,80 ; 5,60 ; 6,40 ; 7,20 e 8,00 m
 Custo: R\$ 5.000,00 / mês => 60.000 R\$/ano

4) Explosivos e Acessórios
 Dinamite, pólvora negra, espoletas, estopim, cordel detonante NP-5 e NP-10, e retardos
 Custo: R\$ 4.000,00 / mês => 48.000 R\$/ano

5) Mão-de-obra Direta + Encargos Sociais
 Custo da folha de pagamento mensal: 16.200,00 R\$/mês
 Encargos sociais sobre a folha de pagamento (45%) = 7.300,00 R\$/mês
 Custo: R\$ 23.500,00 / mês => 282.000 R\$/ano

6) Energia Elétrica
 Consumo mensal de energia elétrica: 18.750 kWh/mês
 Custo de energia elétrica: 0,16 R\$/kWh
 Custo: R\$ 3.000,00 / mês => 36.000 R\$/ano

7) Comissão sobre Emparelhamento e Produção dos Blocos
 Custo da comissão sobre emparelhamento: 4,50 R\$/ m³
 Custo da comissão sobre corte dos blocos: 3,25 R\$/ m³
 Custo de comissões sobre produção: 7,75 R\$/ m³
 Produção média mensal: 180 m³
 Custo: R\$ 1.400,00 / mês => 16.800 R\$/ano

8) Manutenção de equipamentos, reparos e reposições
 5% do investimento inicial ao ano
 Custo: R\$ 2.000,00 / mês => 24.000 R\$/ano

TABELA 1 - Composição do custo operacional da pedra:

Item de custo	Custo mensal (R\$/mês)	Custo anual (R\$/ano)	Participação
Mão-de-obra direta	16.200,00	194.400,00	36,90%
Encargos sociais	7.300,00	87.600,00	16,63%
Brocas e hastes de perfuração	5.000,00	60.000,00	11,39%
Óleo combustível e lubrificante	4.000,00	48.000,00	9,11%
Explosivos e acessórios	4.000,00	48.000,00	9,11%
Energia elétrica	3.000,00	36.000,00	6,83%
Manutenção, reparos e reposições	2.000,00	24.000,00	4,56%
Comissão de emparelhamento e corte	1.400,00	16.800,00	3,19%
Rebolos de afiação	1.000,00	12.000,00	2,28%
Total:	43.900,00	526.800,00	100,00%

Custo operacional unitário $\frac{R\$ 526.800,00}{2.193,20 \text{ m}^3} = 240,19 \text{ R\$/m}^3$

TABELA 2 - Principais itens do custo operacional da pedreira:

Item de custo	Custo anual (R\$/ano)	% custo operacional
Mão-de-obra direta + encargos sociais	282.000,00	56,2%
Brocas de perfuração (1,60 – 4,80 m)	40.200,00	8,0%
Energia elétrica	35.400,00	7,1%
Cordel detonante NP5 e NP 10	33.800,00	6,7%
Óleo diesel	30.700,00	6,1%
Comissões sobre emparelhamento	16.800,00	3,2%
Dinamite (peteca)	8.400,00	1,7%
Total :	446.200,00	89,00%

Pela Tabela 2 acima pode-se verificar claramente que o principal item do custo operacional refere-se as despesas com mão-de-obra direta, decorrente basicamente do pequeno grau de mecanização empregado na lavra. Outros itens importantes do custo operacional referem-se às brocas de perfuração, energia elétrica, cordel detonante e óleo diesel que, juntos, respondem por cerca de 85% do custo operacional da lavra.

Custo de capital

O custo de capital (investimento inicial) foi estimado a partir dos custos existentes de aquisição e utilização dos equipamentos existentes na pedreira da empresa (Tabela 3), conforme informação da contabilidade da empresa GRANISUL.

TABELA 3 - Equipamentos existentes e custo de capital anual (depreciação)

Equipamento	Custo Aquisição	Vida Útil (anos)	Custo Anual (R\$)
Carregadeiras (3)	70.000,00	15	4.700,00
Caminhões fora de estrada (2)	100.000,00	15	6.700,00
Derrick (2)	50.000,00	15	3.300,00
Quarry-bar (5)	27.000,00	10	2.700,00
Marteletes (8)	28.000,00	8	3.500,00
Compressores elétricos (3)	25.000,00	15	1.700,00
Compressor diesel (1)	40.000,00	15	2.700,00
Trator e veículo da pedreira	10.000,00	10	1.000,00
Retroescavadeira (40% valor)*	150.000,00	15	4.000,00
Total			30.300,00

* A retroescavadeira é utilizada também na descobertura de outras pedreiras da empresa

Custo anual de depreciação dos equipamentos:
30.300,00 R\$/ano

Custo depreciação unitário = $\frac{R\$ 30.300,00}{2.193,19 \text{ m}^3} = 13,81 \text{ R\$/m}^3$

Custo direto de produção

Custo de produção = custo operacional + custo de capital

Custo de produção = 526.800,00 R\$/ano +
30.300,00 R\$/ano = 557.100,00 R\$/ano

Custo de produção unitário = $240,19 + 13,81 = 253,81 \text{ R\$/m}^3$

Receita de vendas de blocos

Blocos de 1ª qualidade
Preço de venda: 1.000,00 R\$/m³
Produção média: 120 m³/mês

Blocos de 2ª qualidade
Preço de venda: 675,00 R\$/m³
Produção média: 60 m³/mês

Receitas de vendas
Blocos de 1ª qualidade 120.000,00 R\$/m³
Blocos de 2ª qualidade 40.500,00 R\$/m³

Receita da pedreira: 160.500,00 R\$/mês =
1.926.000,00 R\$/ano

Determinação de custos fixos e variáveis

Os custos variáveis forma estimados a partir de dados levantados junto a empresa GRANISUL e são apresentados na tabela 4 abaixo.

TABELA 4 - Determinação dos custos variáveis

Item de custo	Custo unitário (R\$/m³)
Mão-de-obra direta + encargos	128,57
Brocas e hastes de perfuração	27,36
Óleo combustível e lubrificante	21,88
Explosivos e acessórios	21,88
Energia elétrica	13,68
Manutenção, reparos e reposições	10,94
Comissão de emparelhamento e corte	7,66
Rebolos de afiação	5,47
Total :	237,44

Custos fixos

Depreciação dos equipamentos:
R\$ 30.300,00 (anual)

Escritório e segurança:
R\$ 60.000,00 (anual)

Energia elétrica e iluminação:
R\$ 6.000,00 (anual)

Total: R\$ 96.300,00 (anual)

Determinação do ponto de equilíbrio da pedra

Preço de venda médio:

$$\frac{(1.000,00 \text{ R\$/m}^3 \times 120 \text{ m}^3/\text{mês} + 675,00 \text{ R\$/m}^3 \times 60 \text{ m}^3/\text{mês})}{180 \text{ m}^3/\text{mês}} =$$

$$= 891,67 \text{ R\$/m}^3$$

Margem de contribuição: $891,67 - 237,44 = 654,23 \text{ R\$/m}^3$

$$\text{Ponto de equilíbrio} = \frac{96.300,00}{654,23} = 147,19 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Necessita-se portanto de uma produção mensal de $12,3 \text{ m}^3$ ou aproximadamente de 2 blocos.

Análise Econômico-financeira

A análise econômico-financeira foi realizada através da estimação e determinação do fluxo de caixa anual para um período de 20 anos de operação da pedra e após, o cálculo dos critérios de decisão valor presente líquido e taxa interna de retorno.

Para determinação do fluxo de caixa anual foram utilizados os seguintes valores:

Investimento: 500.000 R\$
Valor residual: 20% investimento inicial
Reposições: 50% investimento inicial no 10º ano

Receita anual: 1.926.000 R\$/ano
Custo operacional: 515.300 R\$/ano
Depreciação: 34.700 R\$/ano

ICMS, CFEM, tributação: 20,5% da receita bruta
IR: 35% do lucro operacional líquido após tributação e depreciação

Taxa de desconto: 18% a.a.
Período: 20 anos

Os resultados do cálculo dos critérios de decisão financeiros a partir do fluxo de caixa de operação para a pedra de Marrom Guaíba apresentaram os seguintes valores:

Valor presente líquido (18%, 20 anos): R\$ 2.491.635
Taxa interna de retorno (20 anos): 82,21% a.a.

Ambos os critérios de decisão apontam portanto a viabilidade do empreendimento, com uma margem de lucro global da ordem de 80% do investimento inicial e retorno financeiro de aproximadamente R\$ 2.500.000,00 em valores atuais.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nas análises técnica e avaliação econômica pode-se concluir que:

- O custo de produção dos blocos de Marrom Guaíba extraídos pela empresa Granisul é de cerca de $253,81 \text{ R\$/m}^3$, sendo que desse total 95% refere-se ao custo operacional e 5% ao custo de depreciação dos equipamentos. Esse nível de custo é extremamente alto e reflete um tipo de lavra intensiva em mão-de-obra e de baixo nível de mecanização.

- A média de produção mensal de blocos de primeira qualidade, principal produto da empresa, é de aproximadamente $120 \text{ m}^3/\text{mês}$, refletindo também o pequeno porte das operações e metodologia de trabalho bastante artesanal.

- O custo fixo anual é de cerca de R\$ 96.300,00 ao ano e o custo variável de $237,44 \text{ R\$/m}^3$. Considerando um preço de venda médio para produção de blocos de primeira e segunda qualidade conforme indicado na avaliação técnico-econômica, verificou-se que a produção mínima para equilibrar as despesas e receitas anuais é de $147,19 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou a produção de apenas 2 blocos por mês. Esse resultado evidencia também a baixa mecanização da lavra e o uso intenso de mão-de-obra operacional.

- Os resultados da análise técnico-econômica e determinação dos critérios de decisão mostram a plena viabilidade do empreendimento com uma taxa de retorno da ordem de 80% ao ano. Esses resultados são decorrentes basicamente do preço de venda ser elevado absorvendo os desperdícios e pouca tecnologia empregada na lavra.

BIBLIOGRAFIA

1) Jost, H.; Brod, J.A.; Holz, M.; Kuhn, A.; Flor, M.A.D.; Kronbauer, A. & Dillemburg, S. (1985) Geologia Estrutural, Petrografia e Petrologia do Sienito Piquiri (Proterozóico Superior), Rio Grande do Sul, IIº Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia.

2) Mexias, A.S.; Pinto, L.M. & Gomes, M.E.B. (1983) Projeto Piquiri - Geologia da Faixa XI. Trabalho de Graduação do curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências - Faculdade de Geologia.

3) Kuhn, A. & Frank, H.T. (1983) Projeto Piquiri - Geologia da Faixa IX. Trabalho de Graduação do curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências - Faculdade de Geologia.

4) Kronbauer, A.; Christ, J.S. & Faccin, U.F. (1983) Projeto Piquiri - Geologia da Faixa V. Trabalho de Graduação do curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências - Faculdade de Geologia.

5) Souza, J. C. (1997) Relatório do projeto-piloto na área de extração de rochas ornamentais, SENAI/RS, 115 P.

DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE DESDOBRAMENTO DE BLOCOS EM SERRARIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Júlio César de Souza

Eng. de Minas, DSc., Prof. Adj., DEMINAS/UFPE – Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901 – Recife – PE - F-mail: icsouza@nnd.ufpe.br

RESUMO

Existem basicamente três tecnologias para o beneficiamento primário de blocos: corte em tear de lâminas, corte com fio diamantado e corte com talha-blocos de discos diamantados. No presente trabalho são apresentados e discutidos os principais sistemas de custo possíveis de serem utilizados para controle e determinação do custo operacional em serrarias de rochas ornamentais, para o corte com tear de lâminas que utilizam granalha como elemento abrasivo.

São definidos os principais itens do custo de produção existentes na tecnologia de desdobramento de blocos de rochas ornamentais em teares que utilizam lâminas com granalhas e também a forma de apuração e alocação dos mesmos.

Na parte principal do trabalho é feita a sugestão de aplicação de método das seções homogêneas para determinação do custo hora-máquina em serrarias de rocha ornamental utilizando teares multilâmina a granalha e discutidos os princípios teóricos para implantação do método.

Por fim é desenvolvido um caso prático de aplicação da metodologia das seções homogêneas para determinação do custo operacional (custo hora-máquina para tear multilâminas a granalha) em serrarias de rocha ornamental e definição do custo de produção de chapas brutas (custo final chapa bruta/m² serrado).

INTRODUÇÃO

Existem atualmente três métodos ou tecnologias para o beneficiamento primário, ou desdobramento (serragem) de blocos de rochas ornamentais em peças de dimensões mais aproximadas daquelas que terão os produtos finais: o corte em teares de lâminas, o corte com fio diamantado e o corte com talha-blocos de discos diamantados. Cada uma destas modalidades apresenta uma variedade própria de equipamentos seguindo diversos princípios de funcionamento e variações construtivas que os identificam individualmente.

No presente trabalho é sugerida a aplicação do método de custeio das seções homogêneas para realizar a determinação do custo de obtenção de chapas serradas em teares multilâminas a granalha convencionais. Os objetivos da metodologia proposta é a determinação do custo-hora máquina de operação dos teares e, a partir desses valores, o

cálculo do custo de produção das chapas obtidas em \$/m².

Processo de Desdobramento em Teares Multilâminas a Granalha

O bloco de rocha é colocado no tear (Figura 1), que constitui um equipamento robusto, formado por 04 colunas que sustentam um quadro que realiza movimento pendular. Neste quadro são colocadas as lâminas de aço carbono de alta dureza tipo barra chata com composição especial, no sentido longitudinal e paralelas entre si. Após colocado sob o quadro do tear, o bloco é constantemente banhado por uma mistura abrasiva, composta por água, granalha de aço ou ferro e cal ou carbureto.

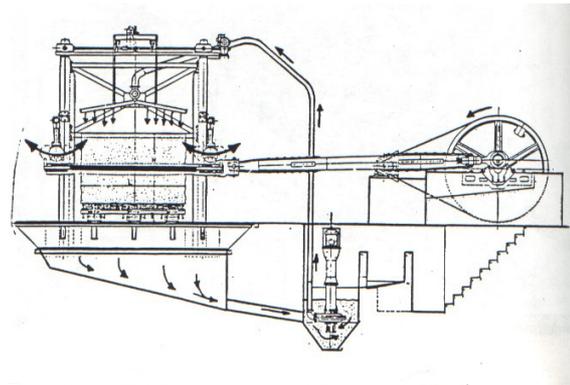


FIGURA 1 - Esquema de operação do tear de lâminas (multilâminas a granalha)

O processo de corte faz-se através do movimento pendular do tear, o qual faz com que as lâminas de aço e a mistura abrasiva imprimam uma ação de corte na rocha, executada pelo atrito e impacto do choque das lâminas contra o bloco. Tal movimento é acionado por motor elétrico, através de sistema biela-manivela, com o auxílio de um volante inicial. O processo de alimentação da mistura abrasiva é mantido por um circuito hidráulico permanente movimentado por bomba de polpa.

No desdobramento dos blocos em chapas são utilizados os teares com lâminas de aço. Os teares convencionais são dotados de sistemas automatizados e reguláveis, podendo reduzir o tempo integral de processamento. O sistema de mistura de abrasivos é processado através de poço dotado de bomba de polpa com motor de 40 CV e chuveiro tubular, acionados em conjunto.

A carga total do tear permite a colocação de dois blocos de volume unitário médio de 6,0 m³, sendo posicionados embaixo do quadro de lâminas, iniciando-se então a montagem e a armação das lâminas de aço para corte, de conformidade com a programação de produção de chapas com 1, 2 ou 3 cm de espessura. Em seguida, é processada no poço a mistura de água, cal e granalha. A granalha é dosada pelo alimentador automático e a homogeneização da mistura através da bomba de polpa. Nos teares modelo G/2 a carga útil colocada pode ter as dimensões máximas de 3.10 m de comprimento, por 2.80 m de largura e 2.0 m de altura.

Após processada a mistura para o corte, inicia-se a serragem dos blocos, que tem a velocidade de penetração diretamente proporcional a dureza da matéria prima. Os teares do porte G/2, dispõem em média 120 horas, em trabalho contínuo, para a serragem da carga total. Concluída a serragem, a carga é retirada do tear, sendo as chapas lavadas com grande volume de água para retirar a granalha, aderida afim de evitar-se o surgimento de oxidação superficial nas chapas.

A serragem dos blocos se faz por múltiplas lâminas móveis, produzidas em aço de alta resistência, e material abrasivo, que cortam na espessura programada. O desempenho observado na serragem de materiais de dureza média é de 2,4 cm/h.

A otimização da operação dos teares está diretamente relacionada ao correto dimensionamento da carga, através da utilização de blocos padronizados, que ocupem na integralidade o espaço das máquinas, o que permite obter-se melhor rendimento, relacionado com as perdas laterais.

O consumo de energia elétrica é considerado econômico pois seu motor principal de acionamento do volante e, conseqüentemente, do quadro porta lâminas é de 60 CV, enquanto o sistema de subida e descida é comandado por caixa de cala, acionado por um motor de 7,5 CV e um motovariador de 2,0 CV.

Custeio da Produção Industrial

Pode-se definir como custo de produção a “aplicação de recursos, sob diferentes formas e expressa em valor monetário, para a produção e distribuição de mercadorias, ou prestação de serviços, até o ponto em que possa perceber o preço convencionado”.

Dessa forma o custo final do produto é o somatório dos custos de produção mais o custo de distribuição.

Mais modernamente surge o conceito de custo técnico que, de acordo com Allora, pode ser definido com “a soma dos gastos de transformação, mais matéria-prima, para fabricar um produto. Os outros gastos são despesas de estrutura da empresa e despesas de distribuição”.

Para a apuração dos custos técnicos são levantados os gastos nos seguintes elementos de custo: matérias-primas básicas, materiais auxiliares e secundários, mão-de-obra direta e indireta, supervisão, encargos sociais, materiais de consumo, ferramentas e matrizes, energia elétrica, utilidades (água, vapor, ar comprimido, etc), manutenção e conservação, transportes internos, amortização de equipamentos, serviços técnicos (engenharia, segurança, controle de qualidade, etc), seguros e aluguéis de locais produtivos e leasing de equipamentos produtivos.

As despesas empresariais (administração, vendas e finanças) não são despesas de produção, mas sim são despesas para administrar a estrutura da empresa, para comercializar os produtos, suprir os fundos necessários e divulgar a imagem da empresa e dos produtos. Essa classe de despesas não deve ser apropriada aos produtos pois não tem nada a ver com a sua produção. As mesmas devem ser recuperadas através das margens de contribuição geradas pela venda dos produtos. Essa margem deve absorver as despesas de estrutura e deixar um superávit.

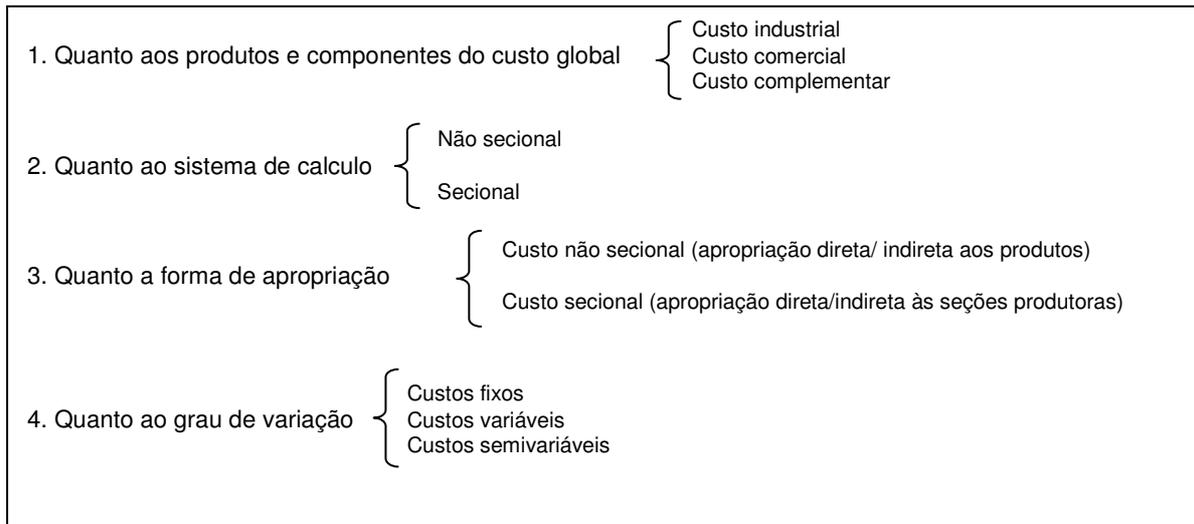
Os métodos de custo têm como objetivo atribuir a cada produto uma parcela das despesas, ou seja, distribuir despesas para cada produto obtido na atividade industrial.

Os principais métodos de custo aplicados à unidades industriais são:

- Método das percentagens
- Método das seções homogêneas
- Método da hora-máquina (machine hour rates)
- Método de custo padrão (standard costs)
- Método das unidades de esforço de produção (UEP's)

Para operacionalização do custeio dos produtos são aplicados sistemas de apropriação e cálculo de custos. Os objetivos dessas metodologias de custeio são basicamente: a determinação do preço de venda do produto, comparação de custo em períodos diferentes, determinação da eficiência técnica-administrativa e conhecimento do nível de rendimento econômico e produtividade.

Os custos podem ser classificados de várias formas, o que facilita o ser apuramento e também a sua apropriação. As classificações mais usadas são:



A apropriação de custos tem como objetivo “identificar, apurar e reunir todos a custos aplicados ou a aplicar na fabricação e venda de cada produto”. Os sistemas de apropriação podem ser não-seccional, com apropriação direta aos produtos, ou seccional, com apropriação do custo de produção às seções produtivas e após aos produtos através de relação direta entre o produto e o custo (Ex. matéria-prima), ou indireta, onde o custo é rateado ao produto ou centro de custo através de um fator de rateio (Ex. energia).

Determinação do Custo de Transformação

O custo de transformação ou custo técnico (C_{transf}) mais o custo das matérias-primas (C_{mp}) formam o custo-fábrica (custo de produto vendido) que, deduzido do valor das vendas (P_v), proporcionará a margem de contribuição (MC).

$$MC = P_v - (C_{transf} + C_{mp})$$

Deduzindo dessa margem de contribuição as despesas de estrutura (D_{est}): despesas de vendas (D_{ven}), administração (D_{adm}) e tributação (D_{trib}), obtém-se o lucro operacional da empresa (L_{op}).

$$L_{op} = MC - D_{est} = MC - (D_{ven} + D_{adm} + D_{trib})$$

Deduzindo-se do lucro operacional as eventuais despesas financeiras (D_{fin}) tem-se o lucro da empresa antes do imposto de venda (L_{emp}). Aplicando-se a tributação do Imposto de Renda ao lucro da empresa tem-se o lucro operacional líquido (L_{liq}) da empresa no período avaliado.

$$L_{emp} = L_{op} - D_{fin}$$

$$L_{liq} = L_{emp} - IR$$

O levantamento dos dados de custo deve ser rigoroso e preciso para ter-se um resultado confiável para a apropriação e cálculo do custo industrial e devem ser obtidos das seguintes fontes:

- Salários: folha de pagamento
- Encargos sociais: percentagem sobre valores da folha de pagamento

- Material de consumo: fichas de almoxarifado, requisições
- Ferramental: ordens de compra e requisições
- Utilidades: ordens de compra e requisições
- Energia elétrica: potência instalada e fatura mensal
- Depreciações: percentual anual sobre valores dos equipamentos
- Despesas gerais fabris: alugueis e impostos de imóveis; seguros; serviço de terceiros (contab)
- Despesas de estruturas: despesas de vendas e administrativas (contabilidade)
- Despesas financeiras: contabilidade

A Tabela 1 mostra de forma simplificada um modelo indicando quais as principais despesas a serem considerados no custeio da produção industrial e a Tabela 2 apresenta um modelo para realizar o balanço econômico e cálculo do resultado global da empresa.

TABELA 1 - Resumo Geral das Despesas Fabris

DESPESAS FABRIS			
Salários mensalistas			
Encargos sociais	\$		
Material de consumo	\$		
Peças de máquinas	\$		
Ferramental	\$		
Utilidades	\$		
Energia elétrica	\$		
Aluguel e impostos sobre imóveis	\$		
Seguros sobre equipamentos	\$		
Seguros sobre edifícios	\$		
Serviços de terceiros	\$	Σ \$	(Fábrica)
Depreciação		\$	(Depreciação)
DESPESAS DE ESTRUTURA			
Despesa de vendas	\$		
Despesas administrativas	\$	Σ \$	(Estrutura)
Despesas financeiras		\$	(Financeira)

TABELA 2 - Exemplo de Balanço Econômico e Cálculo do Resultado Global da Empresa

	Vendas		86.010.000,00
(-)	Deduções (ICMS, etc)	(14,8%)	(12.729.480,00)
(=)	Receita Líquida		73.280.520,00
(-)	Custo dos Produtos Vendidos		
	- matéria prima	7.805.184,00	
	- salário + encargos	20.300.588,00	
	- despesas gerais fabris	5.708.308,00	
	- amortizações	622.354,00	(34.436.434,00)
(=)	Margem de Contribuição		38.844.086,00
(-)	Despesa de Vendas	7.130.400,00	
(-)	Despesas Administrativas	10.480.000,00	(17.610.400,00)
(=)	Lucro Operacional		21.233.686,00
(-)	Despesas Financeiras		(8.700.000,00)
(=)	Lucro Antes do Imposto de Renda		12.533.686,00
			(14,6% faturamento)

Análise do Custo de Cada Produto Vendido

A análise para determinação do custo de cada produto vendido foi desenvolvida utilizando-se os conceitos do método de custo das seções homogêneas. Para tanto considera-se que as operações de fabricação desenvolvidas na seção devem ser da mesma natureza e intensidade. Portanto a atividade produtiva de cada seção pode ser medida por uma unidade de trabalho abstrata.

No caso de uma serraria pode-se considerar que as seções produtivas são os centros de custo da indústria e individualizadas para cada tear em operação. Dessa forma os produtos são custeados pela passagem por esses centros de custo e acumulam valores até chegar a um valor final. Com a utilização dessa metodologia pode-se facilmente determinar o custo hora-máquina de cada tear em operação e também o custo unitário final da chapa serrada e polida.

O esquema básico para determinação do custo através do método das seções homogêneas é apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 - Mapa Geral de Distribuição de Custos Secionais

Critérios de Distribuição			Seções Indiretas					Seções Diretas				
Veículos		Chaves	Gerência e PCP	Materiais	Energia Elétrica	Manutenção	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5	
	N° de pessoas	Valor										
	Área, m²	Valor										
	Valor eqtos (seguros)	Valor										
	Valor eqtos (amortiz)	Valor										
	Valor edifícios	Valor										
	Uso utilidades	Valor										
	Número ordens de produção	Valor										
	Número de movimentos almoxarifado	Valor										
	KWh instalados	Valor										
	Horas manutenção	Valor										
Despesas Produção	Distribuição	Coefficientes	R\$ totais									
Ordenados mensalistas	Folha pagamento	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Salário horistas	Folha pagamento	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Encargos sociais	Número pessoas	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Materiais de consumo	Requisições	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Peças de máquinas	Ordens de serviço	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Ferramental	Ordens de serviço	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Utilidades	Percentual de uso	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Eletricidade	Faturas	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Aluguéis	Áreas, m²	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Seguro equipamentos	Valor equipamentos	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Seguro edifícios	Valor edifícios	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Amortizações	Valor equipamentos	%	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Serviço de terceiros	Faturas	Direto	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	Arredondamentos	-	Σ \$		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	N° ordens de produção	Direto		Σ \$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	N° movimt. almoxar.	Direto			Σ \$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	KWh instalado	%				Σ \$	\$	\$	\$	\$	\$	
	Horas manutenção	Direto					Σ \$	\$	\$	\$	\$	
							Σ \$	Σ \$	Σ \$	Σ \$	Σ \$	
							Produção	Unidade	Unidade	Unidade	Unidade	
							Custo Unitário	Σ \$/un	Σ \$/un	Σ \$/un	Σ \$/un	

O custo de transformação pode ser determinado facilmente através das tabelas abaixo, utilizando-se o resultado de custo unitário obtido através do mapa geral de distribuição de custos seccionais (Tabela 3).

Em primeiro lugar deve-se definir o custo total de transformação (Tabela 4).

TABELA 4 - Mapa de Custos - Transformação

Produto	Seção 1			Seção 2			Seção 3			Seção 4			Seção 5			Total Transf
	Custo unitário	N° unidades	Custo Total	Custo unitário	N° unidades	Custo Total	Custo unitário	N° unidades	Custo Total	Custo unitário	N° unidades	Custo Total	Custo unitário	N° unidades	Custo Total	
1	\$/un	Un.	\$	Σ \$ ₁												
2	\$/un	Un.	\$	Σ \$ ₂												
3	\$/un	Un.	\$	Σ \$ ₃												
4	\$/un	Un.	\$	Σ \$ ₄												
...																
n	\$/un	Un.	\$	Σ \$ _n												

Em seguida acrescenta-se o custo unitário e quantidade de matérias-primas utilizadas no processo de fabricação dos produtos e obtém-se o

custo de matérias primas dos produtos fabricados (Tabela 5).

TABELA 5 - Mapa de Custos – Matérias-primas

Produtos	Matéria-prima 1		Matéria-prima 2		...	Matéria-prima n		Total Matéria-prima
	Custo unitário	N° unidades	Custo unitário	N° unidades		Custo unitário	N° unidades	
1	\$/un	Un.	\$/un	Un.		\$/un	Un.	Σ \$ ₁
2	\$/un	Un.	\$/un	Un.		\$/un	Un.	Σ \$ ₂
3	\$/un	Un.	\$/un	Un.		\$/un	Un.	Σ \$ ₃
n	\$/un	Un.	\$/un	Un.		\$/un	Un.	Σ \$ \$ _n

Para determinação do custo final unitário dos produtos vendidos, ou seja, o custo de produção dos produtos obtidos na empresa, faz-se o somatório dos custos de transformação e da matéria-prima utilizada para sua fabricação (Tabela 6).

Os custos de produção para desdobramento de 90 m³/mês de blocos e obtenção de uma produção de cerca de 2.000 m²/mês de chapas de granito correspondem aos seguintes materiais e insumos:

TABELA 6 - Custo Unitário de Produção

Produtos	Matéria-prima	Transformação	Custo Total
1	\$ MP ₁	\$ CT ₁	Σ \$ ₁
2	\$ MP ₂	\$ CT ₂	Σ \$ ₂
3	\$ MP ₃	\$ CT ₃	Σ \$ ₃
...			
n	\$ MP _n	\$ CT _n	Σ \$ _n

Matéria-prima:

$$90 \text{ m}^3/\text{mês} \times 150 \text{ US}\$/\text{m}^3 = \text{US}\$ 13.500$$

Energia elétrica:

$$\text{Teares: } 50 \text{ KWh/tear} \times 4 \text{ teares} \times 270 \text{ h/tear} = 54.0000 \text{ KWh/mês}$$

$$\text{Iluminação em outras instalações} = 6.000 \text{ KWh/mês}$$

$$\text{Consumo total: } 60.000 \text{ KWh/mês} \times 0,10 \text{ US}\$/\text{KWh} = \text{US}\$ 6.000$$

Abrasivos:

$$16.000 \text{ kg granalha} \times 0,45 \text{ US}\$/\text{kg} = \text{US}\$ 7.200$$

Lubrificantes:

Estimado em US\$ 500

Combustíveis:

Estimado em US\$ 300

Cal virgem ou carbureto:

Estimado em US\$ 500

Frete:

Estimado em US\$ 400

Análise Econômica Financeira do Investimento em Serraria

O investimento fixo em máquinas e equipamentos iniciais para desdobramento de aproximadamente 2.00 m²/mês de granito, com espessura de chapas de 2 cm, corresponde ao processamento de cerca de 90 m³ de blocos em 2 teares tipo G/2. O custo inicial de capital corresponde a cerca de US\$ 247.000 em equipamentos, US\$ 35.000 em prédios e instalações e US\$ 18.000 em veículos. O total de investimento fixo é estimado em aproximadamente US\$ 300.000.

Manutenção:

Substituição de 1 jogo de lâminas/mês para cada tear = US\$ 4.800

Reposição de peças de máquinas e outros materiais = US\$ 700

Custo total = US\$ 5.500

Mão-de-obra:

Os gastos com mão-de-obra foram divididos em mão-de-obra direta e administrativa. A mão-de-obra direta compõem-se de 9 empregados e 1 encarregado de serraria. A mão-de-obra administrativa refere-se 1 vigilante, 1 auxiliar de escritório e 1 sócio-gerente. Os custos totais, incluindo-se os encargos sociais ascendem a:

Mão-de-obra direta = US\$ 4.320

Mão-de-obra administrativa = US\$ 2.030

Custo total = US\$ 6.350

Seguros:

Estimou-se um valor de 1% do investimento fixo com seguros. O custo anual é de cerca de US\$ 3.000 o que nos dá um custo mensal = US\$ 250

Diversos e eventuais:

Calculado na base de 5% dos custos operacionais = US\$ 2.000

Despesas administrativas:

Gastos mensais com material de escritório, telefone, contabilidade, assinatura de revistas e jornais, etc = US\$ 500

PIS/FINSOCIAL:

Taxa de 1,25% sobre o faturamento previsto = US\$ 750

Depreciações:

Calculado na base de 10% aa sobre o investimento em máquinas, equipamentos e veículos e 5% para prédios e instalações. Total = US\$ 2.350

A Tabela 7 apresenta uma síntese dos principais itens do custo operacional para uma serraria com 4 teares tipo G/2 e produção de 2.000 m²/mês de chapas.

TABELA 7 - Síntese dos Custos Operacionais Mensal e Anual¹

Despesa	Custo mensal	Custo anual
Matéria-prima	13.500	162.000
Energia elétrica	6.000	72.000
Abrasivos	7.200	86.400
Lubrificantes	500	6.000
Combustíveis	300	3.600
Cal virgem ou carbureto	500	6.000
Fretes	400	4.800
Manutenção	5.500	66.000
Mão-de-obra direta	4.320	51.840
Mão-de-obra administrativa	2.030	24.360
Seguros	250	3.000
Diversos e eventuais	2.000	24.000
Despesas administrativas	500	6.000
PIS/FINSOCIAL	750	9.000
Depreciações	2.350	28.200
TOTAL	46.100	553.200

¹ Obs. Sobre o comércio de chapas serradas em bruto (sem polimento) não incide nem ICMS nem IPI. Sobre o comércio de

chapas de granito beneficiadas (polidas) incide ICMS variável conforme região, com alíquota média de 18%.

A estimativa de receitas baseou-se na produção de 2.000 m²/mês de chapas de granito serradas em bruto, para serem comercializadas junto a empresas beneficiadoras, ao preço médio de 30 US\$/m², representando um faturamento bruto de 60.000 US\$/mês. As condições previstas são de vendas processadas à vista. Observe-se que o recolhimento do ICMS incide sobre a chapa beneficiada (polida) e não nessa etapa do processo.

A Tabela 8 apresenta a estimativa de fluxo de caixa mensal e anual para as condições estimadas de operação da serraria.

TABELA 8 - Fluxo de Caixa Mensal e Anual

Histórico	Mês	Ano
1. RECEITAS TOTAIS	60.000	720.000
2. CUSTOS TOTAIS	(46.100)	(553.200)
Custos Variáveis		
- matéria-prima	(13.500)	(162.000)
- energia elétrica	(6.000)	(72.000)
- abrasivos	(7.200)	(86.400)
- lubrificantes	(500)	(6.000)
- combustíveis	(300)	(3.600)
- cal virgem e carbureto	(500)	(6.000)
- fretes	(400)	(4.800)
- mão-de-obra indireta	(4.320)	(51.840)
- diversos e eventuais	(2.000)	(24.000)
- PIS/FINSOCIAL	(750)	(9.000)
Total custos variáveis	(35.470)	(425.640)
Custos Fixos		
- manutenção	(5.500)	(66.000)
- mão-de-obra administrativa	(2.030)	(24.360)
- seguros	(250)	(3.000)
- despesas administrativas	(500)	(6.000)
- depreciação	(2.350)	(28.200)
TOTAL CUSTOS FIXOS	(10.630)	(127.560)
LUCRO OPERACIONAL	13.900	166.800
IMPOSTO DE RENDA (35%)	4.865	58.380
LUCRO LÍQUIDO	9.035	108.420

As necessidades de capital de giro da serraria corresponde ao estoque de 3 meses de operação de blocos em bruto, estoque de chapas serradas correspondente a 2 meses de operação e encaixe mínimo equivalente ao custo mensal com salários, energia elétrica, materiais, fretes, diversos e eventuais, manutenção, seguros e despesas administrativas deduzindo-se as despesas com PIS/FINSOCIAL com prazo de pagamento de 6 meses. O montante calculado para capital de giro portanto ascende a US\$ 199.000

Análise econômica financeira:

$$\text{Lucratividade} = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Receitas totais}} = \frac{108.420}{720.000} = 15,06\%$$

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Investimento} + \text{capital de giro}} = \frac{108.420}{499.000} = 21,72\%$$

Ponto de Equilíbrio:

Receita total:	720.000
Custos variáveis:	425.640
Custos fixos:	127.560

$$\text{Ponto de equilíbrio} = \frac{127.560}{(720.000 - 425.640)} = 0,4333$$

Níveis de produção mínimos:

Percentual de ocupação:	43,33%
Produção anual:	10.400 m ²
Produção mensal:	870 m ²
Faturamento anual:	312.000 US\$
Faturamento mensal:	26.000 US\$

Determinação do Custo de Produção da Serraria

O custo de produção das chapas obtidas na serraria pode ser facilmente determinados através da aplicação do método das seções homogêneas (RKW) com os dados estimados no exemplo anterior.

Para tanto faz-se a distribuição dos custos para os centros de custo diretos (teares) e indiretos, conforme a Tabela 9 e a partir desses custos seccionais faz-se a distribuição dos custos indiretos às seções diretas através de fatores de rateio conveniente facilmente determinados na prática industrial. Dessa forma tem-se como solução a definição do custo hora-máquina de cada tear em operação que, multiplicado pelo número de horas de serragem, resulta no custo de transformação (tabela 10). Acrescentando-se o custo de aquisição dos blocos, pode-se, de forma bastante precisa, determinar o custo de desdobramento por m² de chapa serrada (Tabela 11).

TABELA 9 - Determinação do Custo Hora-máquina através do Método RKW

Critérios de Distribuição				Seções Indiretas			Seções Produtivas			
Veículos		Chaves	Administração	Manutenção	Movimentação/Pátio	Tear 1	Tear 2	Tear 3	Tear 4	
N° de pessoas		13	3	1	1	2	2	2	2	
Área, m²		400	60	20	200	30	30	30	30	
Valor eqtos (seguros)		265.000	3.000	4.000	40.000	50.000	50.000	50.000	50.000	
Valor eqtos (amortiz)		265.000	3.000	4.000	40.000	50.000	50.000	50.000	50.000	
Valor edifícios		35.000	7.500	2.500	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	
Uso utilidades		100	5	10	5	20	20	20	20	
Número ordens de produção		15	-	-	-	5	3	3	4	
Número de movimentos almoxarifado		100	-	-	10	25	15	30	20	
KWh instalados		315	5	10	100	50	50	50	50	
Horas manutenção		120	-	-	25	30	20	20	25	
Despesas de Produção		Distribuição	Coeficientes	R\$ totais						
Mão-de-obra direta	Folha pagamento	Direto	4.320	-	270	270	945	945	945	945
Mão-de-obra administrativa	Folha pagamento	Direto	2.030	2.030	-	-	-	-	-	-
Abrasivos	Requisições	Direto	8.775	-	-	-	2.900	1.600	1.800	2.475
Lubrificantes	Requisições	Direto	620	-	50	100	130	90	110	140
Combustíveis	Requisições	Direto	250	250	-	-	-	-	-	-
Cal virgem	Requisições	Direto	450	-	-	-	140	90	100	120
Frete	Ordens de produção	%	420	-	-	-	140	84	84	112
Manutenção	Requisições	Direto	6.200	-	1.000	400	1.200	1.200	1.200	1.200
Eletricidade	Kw instalados	%	5.600	89	178	1.778	1.185	711	711	948
Seguros	Valor equipamento	%	250	-	-	40	52,5	52,5	52,5	52,5
Despesas administrativas	Faturas	Direto	430	430	-	-	-	-	-	-
Despesas gerais	Faturas	Direto	800	400	200	50	50	30	30	40
PIS/FINSOCIAL	M² serrados	%	1.200	-	-	-	400	230	250	310
Depreciações	Valor equipamentos	%	2.350	-	-	-	587,50	587,5	587,5	587,5
			33.695	-	-	-	-	-	-	-
N° ordens de produção				3.199	-	-	1.066	640	640	853
Horas manutenção				-	1.698	283	425	283	283	424
Número de cargas				-	-	2.921	974	584	584	779
				-	-	-	10.195	7.127	7.377	8.986
				-	-	-	1.350	750	740	1.160
				-	-	-	7,55	9,50	9,97	7,74
				-	-	-	441	297	285	336
				-	-	-	23,12	23,99	25,88	26,74

TABELA 10 - Mapa de Custos de Transformação

Produção obtida no período	Tear 1			Tear 2			Tear 3			Tear 4		
	US\$/h	Horas	US\$									
1. Granito vermelho	27,12	80	1.849,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Granito vermelho	“	82	1.895,84	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Granito amarelo	“	92	2.127,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4. Granito preto	“	93	2.150,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. Granito amarelo	“	94	2.173,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. Granito ocre	—	—	—	23,99	102	2.446,98	—	—	—	—	—	—
7. Granito verde	—	—	—	“	99	2.375,01	—	—	—	—	—	—
8. Granito amarelo	—	—	—	“	96	2.303,04	—	—	—	—	—	—
9. Granito ocre	—	—	—	—	—	—	25,88	113	2.924,44	—	—	—
10. Granito vermelho	—	—	—	—	—	—	“	85	2.199,80	—	—	—
11. Granito vermelho	—	—	—	—	—	—	“	87	2.251,56	—	—	—
12. Granito vermelho	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,74	80	2.139,20
13. Granito vermelho	—	—	—	—	—	—	—	—	—	“	81	2.165,94
14. Granito amarelo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	“	90	2.406,60
15. Granito preto	—	—	—	—	—	—	—	—	—	“	85	2.272,90

TABELA 11 - Determinação do Custo de Desdobramento das Chapas

Produtos	Granito verm.	Granito verm.	Granito amar.	Granito preto	Granito amar.	Granito ocre	Granito verde	Granito amar.	Granito ocre	Granito verm.	Granito verm.	Granito verm.	Granito verm.	Granito amar.	Granito preto
Custo transf.	1.849,60	1.895,84	2.127,04	2.150,16	2.173,28	2.446,98	2.375,01	2.303,04	2.924,44	2.199,80	2.251,56	2.139,20	2.165,94	2.406,60	2.272,90
M² serrados	256	268	273	275	269	255	253	242	250	243	247	298	304	272	286
Custo US\$/m²	6,98	7,07	7,79	7,82	8,08	9,60	9,39	9,52	11,70	9,05	9,12	7,18	7,12	8,85	7,95
M³ de bloco	8,80	8,90	8,85	8,60	8,30	8,50	8,00	8,20	8,40	7,60	7,70	9,20	9,40	8,90	9,50
Custo US\$/m³	160,00	160,00	180,00	200,00	180,00	170,00	160,00	180,00	170,00	160,00	160,00	160,00	160,00	180,00	200,00
Custo mat. prima	1.408,00	1.424,00	1.593,00	1.720,00	1.494,00	1.445,00	1.280,00	1.476,00	1.428,00	1.216,00	1.232,00	1.472,00	1.504,00	1.602,00	1.900,00
M² serrados	265	268	273	275	269	255	253	242	250	243	247	298	304	272	286
Custo US\$/m²	5,31	5,31	5,83	6,25	5,55	5,67	5,10	6,10	5,71	5,00	4,99	4,94	4,95	5,89	6,64
Custo unitário da chapa/m²															
Custo US\$/m²	12,29	12,38	13,62	14,07	13,63	15,27	14,49	15,62	17,41	14,05	14,11	12,12	12,07	14,74	14,59

Custo de aquisição dos blocos em bruto:

Granito amarelo	=	\$ 180/m ³
Granito preto	=	\$ 200/m ³
Granito ocre	=	\$ 170/m ³
Granito verde	=	\$ 160/m ³
Granito vermelho	=	\$ 160/m ³

CONCLUSÕES

O método de custo das seções homogêneas é aplicável para a determinação do custo hora-máquina de teares convencionais a granalha e pode ser utilizado facilmente para o desenvolvimento de metodologia de custo para determinação do custo de produção de chapas de granito (\$/m²).

O exemplo desenvolvido mostra as etapas de obtenção e cálculo de custo para uma serraria que fornece de forma bastante simplificada o custo hora-máquina de cada tear em operação, o custo de transformação das chapas obtidas e o custo final das chapas serradas.

A metodologia é passível de fácil informatização e os dados requeridos são facilmente obtidos na prática industrial. Portanto a implantação do sistema nas indústrias de desdobramento de rochas não apresenta grandes dificuldades e fornece subsídios importantes para a tomada de decisões empresariais e determinação do custo de venda das chapas processadas.

BIBLIOGRAFIA

Pisani, R. M. (1996). Curso sobre as tecnologias e gestão econômica da empresa de beneficiamento. Seminário Itinerante sobre Gestão Econômica da Empresa de Mármore e Granito. Minas Gerais e Bahia. Março de 1996. SENAI-IICE. 145 pp.

CEDIC/SIC-RS (1987). Perfis oportunidades de investimento: exploração industrial de granito. Porto Alegre. 78 pp.ç

Casarotto F°, N. & Koppitke, B. H. (1986). Análise de Investimentos. Editora da UFSC. 2ª edição. Florianópolis.

Hirchfeld, H. (1984). Engenharia Econômica. Editora Atlas. 3ª edição. São Paulo.

Souza, J. C. (1999). Relatório do projeto piloto na área de beneficiamento de rochas ornamentais. SENAI-RS. Porto Alegre. 96pp.

Chiodi F°, C. (1995). Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. CETEM/CNPq. Rio de Janeiro. 75 pp.

CONSUMO DOS PRINCIPAIS INSUMOS NO DESDOBRAMENTO DE GRANITOS DO NORDESTE, DE DIFERENTES GRAU DE DUREZA

Antonio Augusto Pereira de Sousa¹ e Ramon Rodrigues²

¹Professor do Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba – CCT/UEPB e Diretor da FUJI S/A – Mármore e Granitos.

Av. Estados Unidos, 91 – Nações – Campina Grande/PB- CEP 58103-120
Fone: 83 341 3422 / 83 9971 7101, Fax: 83 335 4923, e-mail: fujicomerc@uol.com.br

²Engenheiro de Produção da FUJI S/A – Mármore e Granitos
R. Ascedino Moura, 203 – Catolé – Campina Grande/PB – CEP 58104-240
Fone: 83 337 4690 / 83 9312 8049, Fax: 83 335 4923, e-mail: fujigranitos@uol.com.br

RESUMO

O granito é uma rocha magmática, compacta, formada principalmente por feldspato, quartzo e mica, predominantemente, constituída por minerais de dureza Mohs acima de 6. As indústrias de beneficiamento de granito utilizam escala própria de dureza de 1 a 5 como indicador de parâmetros, cujos números representam limite máximo do consumo de granalha, conforme um fornecedor desse insumo, que é a empresa IKK Granalhas. O presente trabalho mostra um estudo comparativo do consumo de insumos, como granalha de aço, lâmina e energia elétrica, utilizados no processo de serragem de 4 granitos do Nordeste, de diferentes graus de dureza.

O estudo foi realizado na empresa FUJI S/A – Mármore e Granitos, em Campina Grande/PB, no ano de 2001, cuja serraria possui 3 teares JUMBO (italianos), sendo 2 JS 350 e 1 JS 380. Os granitos analisados foram os conhecidos comercialmente por: Branco Floral – Baraúnas/PB, Bordeaux – Santa Luzia/PB, Branco Jabre – Branco Imaculada/PB e Verde Fuji – Messias Targino/RN, na escala de dureza de 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Os insumos adquiridos pela FUJI S/A são de fornecedores que atendem as normas, sendo a granalha da Sinto (São Paulo/SP), a lâmina da Ferreira DiCittadella (Itália) e a energia elétrica da Companhia Energética da Borborema (Campina Grande/PB). Além disso, foi analisado um indicador de desempenho da produtividade, que foi a velocidade de corte do material, denominado de PPT, em m²/h.

Os resultados abaixo são as médias de 5 serradas, obtidas para cada tipo de granito, utilizando-se um volume comercial em torno de 61-68 m³ de blocos, sendo todos da mesma frente da jazida:

Granito - Dureza	Granalha kg / m ² comercial	Lâmina kg / m ² comercial	Energia kWh / m ² comercial
Branco Floral – 2	1,2	0,7	10,5
Bordeaux- 3	2,5	0,8	13,6
Branco Jabre - 4	3,2	1,2	14,2
V. Fuji - 5	4,5	1,5	18,6

Os blocos de Bordeaux foram serrados com espessura de chapa de 30 mm e nos demais granitos prevaleceu a espessura de chapas de 20 mm.

Os percentuais de aumento no consumo de insumos, conforme a dureza dos granitos foram os seguintes:

Relação de dureza	granalha kg/m ²	lâmina kg/m ²	energia kWh/m ²	PPT m ² /h
2 x 3	108%	14%	30%	-33%
3 x 4	28%	50%	4%	-2%
4 x 5	41%	25%	31%	-24%
2 x 4	167%	71%	35%	-35%
2 x 5	275%	114%	77%	-51%
3 x 5	80%	88%	37%	-26%

Conforme os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que os desdobramentos de granito são influenciados pela dureza dos mesmos em função da elevada variação no consumo dos principais insumos e que ainda existe uma correlação direta entre os consumos e a dureza do Granito. A granalha demonstra ser o insumo que sofre maior incremento com o aumento da dureza, exceto do Bordeaux x Branco Jabre, onde o percentual do consumo de lâmina foi maior. O aumento percentual do consumo de lâmina e energia é em torno de 20 a 30%, respectivamente, exceto entre o Bordeaux x Branco Jabre. É importante salientar que os parâmetros analisados são exceções na comparação da Dureza 3 x 4 (Bordeaux X Branco Jabre), provavelmente, devido aos valores absolutos serem próximos, praticamente classificando ambos como dureza 3.

INTRODUÇÃO

O Brasil é geologicamente privilegiado, no que diz respeito à diversidade de rochas ornamentais, possuindo jazidas com as mais variadas cores, texturas e de excelentes desempenhos dos aspectos físicos e mecânicos da rocha, especialmente em granitos, com grande aceitação e aplicação em obra de elevado grau de exigência.

A produção brasileira de rochas ornamentais de 2001 foi superior a 5 milhões de toneladas, tendo exportado 1,1 milhão de toneladas, o que destaca o Brasil como o sexto maior exportador de volumes do mundo, atrás apenas da Itália, China, Índia, Espanha e Portugal. Os estados de Espírito Santo e Minas Gerais representam 68% da produção de rochas ornamentais brasileira e a Região Norte (exclusivamente o Estado de Rondônia) e Nordeste 16%, com destaque para os Estados da Bahia, Ceará e Paraíba, com 9,4%, 3,5% e 1,2% da produção nacional, respectivamente. O granito corresponde a 60% da produção de rochas ornamentais do Brasil, sendo exportado em blocos, produtos semi-acabados e acabados. O parque industrial nacional possui mais de 1.600 teares, com capacidade de desdobramento superior a 40 milhões de m²/ano, sendo o quarto e oitavo exportador de granito bruto e acabado, respectivamente (CHIOLDI FILHO, 2002).

Nos últimos cinco anos, o Brasil realizou grandes investimentos privados na ampliação e modernização do seu parque industrial para beneficiamento de granitos, através da aquisição de teares, talhas-blocos, mono-fios, máquinas de acabamento (polimento, flameamento, jateamento, apicoado), automação dos equipamentos, enfim, soluções que buscam a melhoria na industrialização das rochas, aumentando a produção e agregando mais qualidade e beleza ao produto natural.

Na exportação de produtos acabados (chapas e ladrilhos), o Brasil apresenta potencial para exportação, através do melhoramento de desempenho dos indicadores de competitividade industrial.

Coutinho et al. destaca (1995, p.19), “o desempenho competitivo de uma empresa, indústria ou nação é condicionado por um vasto conjunto de fatores, que pode ser subdividido naqueles internos à empresa, nos de natureza estrutural, pertinentes aos setores e complexos industriais, e nos de natureza sistêmicas”. Dentre os fatores internos à empresa, é importante nas indústrias de beneficiamento de granitos, o controle de processos de desdobramento da rocha, buscando a melhor produtividade dos teares.

A produtividade dos teares é influenciada por muitas variáveis, sendo as mais relevantes (BEZERRA, 2000):

- ✓ formação geológica;
- ✓ composição mineralógica da rocha;

- ✓ características físico-mecânica (dureza da rocha);
- ✓ nível tecnológico dos equipamentos;
- ✓ composição da mistura abrasiva, constituída por granalha, cal, pó de pedra e água;
- ✓ sistema de alimentação, que faz circular a lama abrasiva sobre os sulcos formados no processo de serragem;
- ✓ nível de automação dos teares – ajustador automático de biela, tensionador hidráulico, dosador automático de cal e granalha, controlador de lama;
- ✓ capacidade volumétrica útil de carga;
- ✓ taxa de ocupação do tear;
- ✓ qualidade dos recursos humanos;
- ✓ os requisitos (qualidade e quantidade) dos insumos (granalhas, lâmina, cal, água e energia).

Com exceção das características geológica e tecnológica do granito, as demais variáveis são passíveis de melhoria, através de investimentos tecnológicos ou por meio de procedimentos e controle do processo produtivo.

Como acompanhamento do controle de processo utiliza-se parâmetro de desempenho, como produção por unidade, custo de produção, horas trabalhadas (produzindo, em manutenção, paradas, ociosidade, etc) e especialmente indicadores de eficiência da produtividade.

O desempenho de produtividade dos teares determina essencialmente o indicador de velocidade de corte (em m²/hora), fornecida pela seguinte equação (SALLES et al., 1996):

$$PPT = \frac{m^2 \text{ serrada}}{\text{Tempo efetivo}}$$

onde,

- ✓ PPT é a velocidade de corte, expresso em m²/hora;
- ✓ m² serrada é a área de granito obtida na serragem, medida em m²;
- ✓ Tempo efetivo é o tempo, medido em horas, que o tear está efetivamente trabalhando, não se considerando os períodos decorrentes de paradas eventuais e obrigatórias.

A PPT é influenciada direta e indiretamente pela variável tempo de corte, capacidade volumétrica do tear, nível de atualização tecnológica e taxa de ocupação do tear e consumo de insumo. O tempo de corte permitiu a apropriação dos custos de uma

serrada, com a energia elétrica, manutenção, depreciação, mão-de-obra e despesas indiretas.

É importante salientar as colocações e conclusões, de fácil percepção, dos seguintes comentários de Bezerra (2000), concernentes à produtividade dos teares:

- quanto maior a velocidade de corte, maior a produtividade;
- quanto maior a taxa de ocupação do tear, maior a produtividade;
- quanto maior a dureza do granito, menor a produtividade

O presente trabalho buscou enfatizar a análise comparativa de duas variáveis que influenciam no desempenho da produtividade, que são os requisitos dos insumos e a dureza da rocha, através da comparação do consumo dos principais insumos (granalha, lâmina de aço e energia elétrica) no desdobramento de Granitos do Nordeste, de diferentes graus de dureza. Objetivando enriquecer os resultados da produtividade da indústria analisada, temos os valores médios da velocidade de corte de cada tipo de granito estudado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na empresa FUJI S/A – Mármore e Granitos, em Campina Grande/PB, cuja serraria possui 3 teares GASPARI MENOTTI, dois JS 350 e 1 JS 380 (italianos), com 3,50 m de largura, sistema de alimentação automatizado e elevado nível de automação, tendo capacidade instalada de aproximadamente 10.000 m²/mês.

As serradas analisadas foram realizadas no ano de 2001. Não houve mudança dos colaboradores do setor de serraria, como engenheiro de produção, encarregado, operadores e auxiliares, durante as serradas analisadas.

Requisitos dos Insumos

Os insumos utilizados nos desdobramentos são de fornecedores que atendem as normas nacionais e/ou internacionais, com sistemas de gestão da qualidade (Normas da Série NBR-ISO 9000), o que confere confiabilidade e credibilidade para aquisição desses insumos. Os principais insumos analisados foram a granalha de aço GR-04 da Sinto (São Paulo/SP), a Lâmina de aço, altura de 120 mm e espessura de 4,2 mm da Ferriera Di Cittadella (Itália) e a energia elétrica da Companhia Energética da Borborema- CELB (Campina Grande/PB).

Dureza do Granito

No caso dessa pesquisa foi adotada pela FUJI S/A a escala de dureza recomendada pela empresa IKK, fabricante de granalha de aço, que

sugere uma escala em função do consumo de granalha, com a seguinte descrição:

- dureza 1 – consumo entre 0 e 1 kg/m²
- dureza 2 – consumo entre 1 e 2 kg/m²
- dureza 3 – consumo entre 2 e 3 kg/m²
- dureza 4 – consumo entre 3 e 4 kg/m²
- dureza 5 – consumo maior que 4 kg/m²

Para ensaios de dureza em laboratório em laboratório normalmente utiliza-se a dureza Knoop, como teste rotineiro para avaliação de rochas. A dureza Knoop, assim como a dureza Vickers é um teste de dureza de micro impressão, em que essa é determinada como a área produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga utilizada para produzir a impressão na superfície avaliada. Dessa forma, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza.

Os granitos analisados foram o Floral, localizado no Município de Baraúnas/PB, Bordeaux no Município de Santa Luzia/PB, Jabre no Município de Imaculada/PB e Verde Fuji no Município de Messias Targino/RN, na escala de dureza de 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Capacidade Volumétrica útil de carga e taxa de ocupação do tear

A capacidade volumétrica dos teares e a taxa de ocupação da FUJI S/A – Mármore e Granitos é o dado pelas equações abaixo:

Capacidade do tear = Largura x altura x comprimento
Volume = = 3,5 x 3,1 x 2,0 = 21,70 m³.

Portanto, a capacidade volumétrica da serraria da FUJI S/A calculada para a determinação da taxa de ocupação nesse trabalho é de:

Volume total = N.º serradas (5) x 21,7 m³ = 108,50 m³

A taxa de ocupação indica o percentual do volume do tear, nesse estudo calculado acima (108,50 m³), que está sendo ocupado com o volume líquido de blocos de granito.

Procedimento Metodológico para Levantamento dos Dados

Os dados apresentados nesse trabalho foram obtidos nos registros de produção dos documentos operacionais interno do Sistema de Gestão da Qualidade da FUJI S/A, referente ao setor de tear, conforme procedimento de operação, controle e registro de serrada- RQ-9.1 e RQ-9.2, onde registram os seguintes dados e parâmetros de controles do processo:

- RQ-9.1 - dados dos blocos, como tipo de granito, medidas dos blocos, fornecedores dos insumos, data e hora de início e término da serrada e horas trabalhadas efetivas e horas de paradas e/ou manutenção.

- RQ – 9.2 – análise na lama abrasiva, que são as inspeções da viscosidade, que serve de parâmetro de controle da qualidade da lama abrasivas, quantidade de granalha, em g/l e peso específico, em g/l. No painel eletrônico do tear (PLC) são fornecidas as informações da cala (velocidade instantânea de corte, em mm/h), amperagem do volante e da bomba, posição da Lâmina dentro do bloco (mm), produção (m²/h), tensão da lâmina e consumo de granalha (kg/m²).

Esses dados são registrados pelos operadores e supervisionados pelo encarregado. A disposição e ações imediatas durante o processo são da responsabilidade dos operadores, que estão devidamente treinados para tomada de decisão. A análise dos resultados é feita pelo engenheiro de produção.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos parâmetros estudados nesse trabalho para o granito Branco Floral, que é considerado de dureza 2, na escala da empresa IKK granalhas.

TABELA 1 – Resultado dos volumes e áreas comerciais do granito Branco Floral (F) serradas, com o tempo efetivo de corte e a velocidade de corte (PPT).

Granito	m ³	m ²	Tempo efetivo corte (h)	PPT (m ² /h)
F1	12,0	395,7	64,6	6,1
F2	12,0	397,0	64,0	6,2
F3	13,9	458,7	63,7	7,2
F4	13,3	439,9	71,1	6,2
F5	10,4	343,5	61,4	5,6
SOMA	61,7	2034,8	324,8	31,3
MÉDIA			65,0	6,3
DESV. PADRÃO			3,7	0,6

Observando-se os resultados obtidos na Tabela 1 verifica-se nas cinco serradas do granito Branco Floral, um volume de aproximadamente 62 m³ e 2.035 m², correspondendo uma taxa de 33 m²/m³, o que representam uma predominância de chapas com 20 mm de espessura. O indicador de desempenho da produtividade analisado nesse trabalho, que é a velocidade de corte (PPT), é diretamente proporcional a área e inversamente ao tempo efetivo de corte. Portanto, a PPT depende da espessura de chapas, pois a área é função da quantidade de chapas serradas, sendo essa dependente da espessura, pois se nos blocos forem serradas chapas de 15 mm, obtém-se mais chapas do que se fosse de 30 mm de espessura. O tempo efetivo de corte médio foi de 65 h, com valor mínimo e máximo de 61,4 h e 71,1 h, respectivamente. O desvio padrão da PPT é baixo, de 0,6, tendo como valor médio de 6,3 m²/h.

TABELA 2 – Resultados do consumo dos principais insumos no desdobramento do granito Branco Floral (F), classificados com grau de dureza 2 (Referência IKK).

Granito	Granalha kg/m ²	lâmina kg/m ²	energia kWh/m ²
F1	1,0	0,7	10,6
F2	0,9	0,7	10,0
F3	1,6	0,7	8,4
F4	0,9	0,8	9,6
F5	1,6	0,8	13,8
SOMA	5,9	3,6	52,5
MÉDIA	1,2	0,7	10,5
DESV. PADRÃO	0,4	0,1	2,0

A Tabela 2 mostra o consumo de insumos do granito Branco Floral, o que possibilita verificar o bom controle no processamento desse granito, conforme os valores baixos do desvio padrão nas medições de granalha e lâmina, 0,4 e 0,1, respectivamente. O valor médio de granalha, 1,2 kg/m², indica um granito macio, inclusive com valor mínimo de 0,9, o que poderia indicar uma dureza 1 e o valor máximo de 1,6, dentro do limite da dureza 2. O consumo de lâmina foi praticamente o mesmo nas cinco serradas, de 0,7 kg/m². A energia elétrica apresentou um consumo médio de 10,5 kWh/m², com valores mínimo e máximo de 8,4 e 13,8 kWh/m².

As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados do granito Bordeaux, de dureza 3 (referência IKK granalhas).

Tabela 3 – Resultado dos volumes e áreas comerciais do granito Bordeaux (B) serradas, com o tempo efetivo de corte e a velocidade de corte (PPT).

Granito	m ³	m ²	Tempo efetivo corte (h)	PPT (m ² /h)
B1	13,9	330,0	82,3	4,0
B2	14,1	382,7	79,5	4,8
B3	10,5	311,3	81,3	3,8
B4	11,2	298,1	87,0	3,4
B5	13,1	392,0	81,4	4,8
SOMA	62,8	1714,2	411,4	20,9
MÉDIA			82,3	4,2
DESV. PADRÃO			2,8	0,6

Observando os resultados contidos na tabela 3 temos um volume de blocos do granito Bordeaux em torno de 63 m³, produzindo 1714 m², o que fornece uma taxa de aproximadamente 27 m²/m³, o que indica uma produção de chapas de 30 mm, conseqüentemente diminuindo o valor da velocidade de corte (PPT), devido à menor produção de área por m³, comparando-se com chapas de 20 ou 15 mm, conforme comentado anteriormente. Os

valores médios do tempo efetivo de corte e da PPT foram de 82,3 h e 4,2 m²/h, respectivamente.

TABELA 4 – Resultados do consumo dos principais Insumos no desdobramento do granito Bordeaux (B), classificados com grau de dureza 3 (Referência IKK).

Granito	Granalha kg/m ²	Lâmina kg/m ²	energia kWh/m ²
B1	2,8	0,9	15,0
B2	2,7	0,8	10,9
B3	2,3	0,8	15,1
B4	2,4	0,8	14,7
B5	2,6	0,8	12,5
SOMA	12,7	4,2	68,2
MÉDIA	2,5	0,8	13,6
DESV. PADRÃO	0,2	0,1	1,9

Na Tabela 4 verifica-se que os dados de consumo da granalha e lâmina apresentaram baixo desvio padrão, o que indica controle de processo eficaz no desdobramento do granito Bordeaux. O valor médio de granalha foi de 2,5 kg/m², caracterizando-se dentro da dureza 3, com mínimo de 2,3 e máximo 2,8 kg/m². O consumo de lâmina foi praticamente o mesmo, em torno de 0,8 kg/m². A energia elétrica apresentou um consumo médio de 13,6 kWh/m², com valores mínimo e máximo de 10,9 e 15,1 kWh/m².

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos parâmetros estudados nessa pesquisa para o granito Branco Jabre, que é considerado de dureza 4, na escala da empresa IKK granalhas.

TABELA 5 – Resultado dos volumes e áreas comerciais do granito Branco Jabre (J) serradas, com o tempo efetivo de corte e a velocidade de corte (PPT).

Granito	m ³	m ²	Tempo efetivo corte (h)	PPT (m ² /h)
J1	12,4	357,6	105,6	3,4
J2	12,7	424,4	107,4	4,0
J3	13,6	456,1	103,9	4,4
J4	14,1	461,1	111,0	4,2
J5	14,7	472,3	106,0	4,5
SOMA	67,5	2171,4	533,9	20,3
MÉDIA			106,8	4,1
DESV. PADRÃO			2,7	0,4

Verificando os resultados apresentados na tabela 5 temos que foi serrado 67,5 m³ de blocos de jabre, obtendo-se 2171,4 m², com uma relação de 32,2 m²/m³, caracterizando a prevalência da produção de chapas de 20 mm. O tempo de corte

efetivo é próximo a 4 dias e meio, em média 106,8 h. A PPT foi próxima ao granito Bordeaux, mesmo tendo uma dureza maior. Isso ocorreu, provavelmente, devido à ocupação dos teares nas serradas do Branco Jabre, terem sido maior (volume total de jabre de 4,7 m³ superior ao Bordeaux). A taxa de ocupação do tear influir diretamente na PPT, pois quanto maior essa, maior será a área de desdobramento. Além disso, a relação m²/m³ do jabre foi superior ao do Bordeaux, em função das chapas do primeiro serem de 20 mm, contra as de 30 mm para o Bordeaux. Esses dois fatores, a taxa de ocupação dos teares e a espessura da chapa, fizeram com que o indicador de desempenho da produtividade usado nesse trabalho, a PPT, fosse praticamente o mesmo para os granitos Jabre (dureza 4) e Bordeaux (dureza 3), em torno de 4 m²/h.

TABELA 6 – Resultados do consumo dos principais Insumos no desdobramento do granito Branco Jabre (J), classificados com grau de dureza 4 (Referência IKK).

Granito	Granalha Kg/m ²	Lâmina kg/m ²	energia kWh/m ²
J1	2,9	1,1	17,8
J2	3,2	1,2	17,0
J3	3,1	1,2	13,5
J4	3,5	1,1	12,1
J5	3,6	1,2	10,6
SOMA	16,2	5,8	71,0
MÉDIA	3,2	1,2	14,2
DESV. PADRÃO	0,3	0,1	3,1

A Tabela 6 apresenta o consumo dos principais insumos analisados para o granito Jabre, de dureza 4. A granalha apresentou valores próximos ao limite dos granitos considerados de dureza 3, com valor mínimo de 2,9 e máximo de 3,6 kg/m², tendo como média 3,2 kg/m². O consumo de lâmina continuou apresentando valores com quase nenhuma variação, sendo o desvio padrão de 0,1 e valor médio de 1,2 kg/m². Nesse granito, a energia elétrica mostra a maior discrepância nos seus valores, com valor médio de 14,2 kWh/m² e desvio padrão de 3,1, tendo 10,6 e 17,8 kWh/m², como valor mínimo e máximo, respectivamente.

As Tabelas 7 e 8 mostram os resultados dos parâmetros de controle do processo para o granito Verde Fuji, que é considerado nesse estudo como o que possui maior dureza.

TABELA 7 – Resultado dos volumes e áreas comerciais do granito Verde Fuji (V) serradas, com o tempo efetivo de corte e a velocidade de corte (PPT).

Granito	m ³	m ²	Tempo efetivo corte (h)	PPT (m ² /h)
V1	12,1	378,8	121,1	3,1
V2	13,0	429,6	129,1	3,3
V3	12,5	427,6	135,4	3,2
V4	11,7	311,4	125,0	2,5
V5	11,7	396,5	123,0	3,2
SOMA	61,0	1943,8	633,7	15,3
MÉDIA			126,7	3,1
DESV. PADRÃO			5,7	0,3

Observando os resultados contidos na Tabela 7 verifica-se a predominância das chapas de 20 mm serradas para o granito Verde Fuji, pois se evidencia uma relação em torno de 32 m²/m³, tendo sido serrado 61 m³, produzindo mais de 1943 m². A velocidade de corte (PPT) desse material é extremamente baixa, valor médio de 3,1 m²/h, provocada principalmente pela dureza do material, pela baixa taxa de ocupação do tear e por apresentar uma das cinco serradas (V4) de chapas de 30 mm, corroborando para diminuição da produtividade das serradas analisadas para o Verde Fuji. O tempo efetivo de corte médio das serradas foi de 126,7 horas.

TABELA 8 – Resultados do consumo dos principais Insumos no desdobramento do granito Verde Fuji (V), classificados com grau de dureza 5 (Referência IKK).

Granito	granalha kg/m ²	lâmina kg/m ²	energia kWh/m ²
V1	4,6	1,4	19,2
V2	4,2	1,2	18,0
V3	4,2	1,5	19,0
V4	4,7	1,9	17,5
V5	4,9	1,7	19,4
SOMA	22,5	7,6	93,2
MÉDIA	4,5	1,5	18,6
DESV. PADRÃO	0,3	0,3	0,8

A Tabela 8 mostra a paridade do consumo dos principais insumos no desdobramento de granito duro, onde os desvios padrões dos valores são baixos, de 0,3; 0,3 e 0,8 para granalha, lâmina e energia elétrica, respectivamente. A granalha apresentou o valor médio de 4,5 kg/m², caracterizando esse granito como sendo o mais duro dentro de escala de dureza de referência adotada nesse trabalho (IKK granalha). O consumo médio de lâmina foi de 1,5 kg/m². A energia elétrica mostra que o valor mínimo de 17,5 kWh/m² é próximo ao valor máximo obtido no granito de dureza 4 (Branco

Jabre), que foi de 17,8 kWh/m², tendo ainda, o Verde Fuji apresentado valor médio de 18,6 kWh/m² e máximo de 19,4 kWh/m².

As Tabelas 9 e 10 apresentam os dados comparativos de consumos dos principais insumos utilizados no desdobramento de granitos, bem como, o indicador de desempenho da produtividade, analisado nesse trabalho, que foi a velocidade de corte (PPT), relacionando-os com diferentes granitos do Nordeste, quanto à dureza desses.

Tabela 9 – Comparação dos consumos de insumos e da velocidade de corte dos granitos de diferente grau de dureza.

Granito - Dureza	Granalha kg/m ²	lâmina kg/m ²	Energia Kwh/m ²	PPT m ² /h
Branco Floral - 2	1,2	0,7	10,5	6,3
Bordeaux -3	2,5	0,8	13,6	4,2
Branco Jabre - 4	3,2	1,2	14,2	4,1
Verde Fuji - 5	4,5	1,5	18,6	3,1

A Tabela 9 apresentam os valores médios do consumo de granalha, lâmina e energia elétrica e do indicador de desempenho da produtividade, que foi a PPT.

TABELA 10 – Resultados percentuais da variação dos consumos de insumos e da velocidade de corte dos granitos de diferente grau de dureza.

Relação de dureza	granalha kg/m ²	lâmina kg/m ²	Energia KWh/m ²	PPT m ² /h
2 x 3	108%	14%	30%	-33%
3 x 4	28%	50%	4%	-2%
4 x 5	41%	25%	31%	-24%
2 x 4	167%	71%	35%	-35%
2 x 5	275%	114%	77%	-51%
3 x 5	80%	88%	37%	-26%

Legenda: 2 – Floral,
3 – Bordeaux,
4 – Jabre,
5 – Verde Fuji.

A Tabela 10 mostra os percentuais de aumento do consumo de insumos em relação à dureza do granito, bem como o comportamento do indicador de produtividade (PPT) nos quatro tipos de material serrado. Observando o percentual de incremento dos insumos, verifica-se que a granalha é a que mais aumenta, com a mudança de dureza, exceto na relação entre o Bordeaux e Branco Jabre (3 x 4), onde o maior incremento é da lâmina (50%), contra 28% da granalha.

É importante observar que provavelmente existe uma relação indireta entre o consumo de

granalha e lâmina, ou seja, quanto maior o consumo de granalha, menor o consumo de lâmina, sendo o inverso também verdadeiro. Essa afirmação pode ser demonstrada pelo comportamento dos percentuais entre o granito de dureza 2 x 3 – 108% e 14% e 3 x 4 – 28% e 50%, de granalha x lâmina, respectivamente. Por outro lado, verifica-se uma aproximação no aumento percentual na serradas do granito de dureza 4 x 5, demonstrando um equilíbrio no percentual de aumento da granalha x lâmina, 41% e 25%, respectivamente. A energia elétrica apresenta um aumento percentual em torno de 30%, no aumento gradual da dureza do granito, exceto do 3 x 4 (Bordeaux x Branco Jabre), que foi de apenas 4%.

Comparando-se os resultados da PPT podemos analisar o desempenho do indicador de produtividade com perdas significativas, devido o aumento da dureza do material, com percentuais de 24% para granito de dureza 2 x 3, e com mais de 50% do granito 2 x 5. A perda de 2% percentual, que é quase desprezível, entre o granito de dureza 3 x 4, provavelmente ocorreu devido os valores absolutos do consumo dos insumos serem próximos, especialmente o de granalha, praticamente classificando-os como de dureza 3 (ver tabela 9). Além disso, o Bordeaux (dureza 3), teria maior velocidade de corte, caso as serradas analisadas tivessem sido de chapas de 20 mm, conseqüentemente, aumentando a área comercial e também a PPT.

DISCUSSÃO

Observando os resultados das cinco serradas para cada tipo de granito, podemos concluir que o gerenciamento do processo produtivo possibilita o controle de consumo de granalha, lâmina e energia com certa eficiência. A seguir faremos comentários a respeito das variáveis que influenciam no desempenho da produtividade das serradas:

Observando as Tabelas 2, 4, 6 e 8, do granito Branco Floral, Bordeaux, Branco Jabre e Verde Fuji, respectivamente, temos que o consumo de granalha e lâmina para cada tipo de granito sofrem pouca variação, com desvio padrão em torno de 0,3 e 0,1, respectivamente. A energia elétrica mostrou ser o insumo de maior dificuldade no controle durante o processo produtivo, com discrepância consideráveis, apresentando desvio padrão entre 0,8 e 3,1. A qualidade e quantidade dos insumos supracitados são adequadas e apresentam inspeções e controle satisfatório para análise de produtividade.

Nas várias serrarias com teares existem percepções distintas do grau de dureza da rocha, o que corrobora para esconder a ineficiência de uma empresa, pois, é comum ouvir no jargão nessa atividade industrial, a seguinte afirmativa: “os custos de produção e o consumo dos insumos elevados são por culpa do material, que é muito duro.” A dureza dos granitos analisada foi bem caracterizada, apresentando resultados de desempenho e controle de processo dentro das expectativas.

É importante observar que a qualidade dos recursos humanos não influenciou no comportamento

dos resultados, pois não sofreu mudanças durante as serradas, levando-se em conta que os recursos humanos foi o mesmo durante o período analisado e que são preparados e treinando na realização das suas atividades.

A taxa de ocupação dos teares para os quatro granitos analisados foi de 56,9% , 57,9% , 62,2% e 56,2%, para o Branco Floral, Bordeaux, Branco Jabre e Verde Fuji, respectivamente. Isso demonstra que a empresa, juntamente com os seus fornecedores de blocos, necessita de um melhor planejamento na aquisição de blocos das jazidas, buscando otimizar a capacidade volumétrica dos teares, levando os valores da taxa de ocupação acima de 70%, que é considerado satisfatório (CETEMAG, 1995)

As variáveis que influenciam na produtividade que não foram comentadas acima, como o nível tecnológico dos equipamentos, o sistema de alimentação dos teares, o controle da lama abrasiva, nível de automação dos teares não interferem na análise de produtividade da FUJI s/A, pois essa já apresenta tecnologia de processo adequado para obtenção de resultados satisfatórios de produtividade, totalmente competitivo para participação no mercado das indústrias de desdobramento de granitos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pode-se concluir que o processo produtivo de desdobramento de rochas ornamentais é influenciado pela dureza do material, em função da elevada variação no consumo dos principais insumos (granalha, lâmina e energia elétrica), caracterizando-se claramente a correlação entre a dureza do granito e o consumo dos insumos, ou seja, quanto mais duro o granito maior o consumo dos insumos. Contudo, é importante avaliar o controle de processo, visando otimizar custos e a produtividade das serradas, pois dessa forma, é que se justifica a busca constante do aperfeiçoamento dos processos produtivos.

A dureza do granito também interfere decisivamente no custo da serrada e na produtividade, este foi analisado nesse trabalho pelo indicador de desempenho da velocidade de corte (PPT), onde se deve considerar e mencionar no seu resultado a espessura das chapas serradas, pois interfere na quantidade de m² serrados. A espessura das chapas obtidas no desdobramento é importante dado para se comparar à velocidade de corte, pois caso não se tenha essa informação, o resultado da PPT não é significativo, comprometendo a eficácia do indicador de desempenho da produtividade.

BIBLIOGRAFIA

BEZERRA, F. D. Competitividade industrial: estudo da performance competitiva do setor graniteiro do Ceará no Mercado Brasileiro. João Pessoa, PB., 2000. 162p. Tese Doutorado em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

CHIUDI FILHO, C. The dimension of stone in Brazil. 2001.12p. Baseado no Relatório “Brazilian Dimension Stones in the 21st Century”, preparado pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais -ABIROCHAS/CAMEX.

CETEMAG, Relatório de assessoria técnica. Cachoeiro de Itapemirim, ES, 1995.

COUTINHO, L ., FERRAZ, J. C. (Coord.). Estudo competitividade da indústria brasileira. 3 ed. Campinas:Papirus, SP, 1995, 510p.

SALLES, E. , PARIS, A. H. LOUZADA, PARIS, D. L. L., Análise e avaliação da produtividade relacionada com a taxa de ocupação do tear. Vitória, ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 1996, 47p. Monografia, Especialização em Tecnologia de Aproveitamento e Valorização de Rochas Ornamentais.

RECICLAGEM DO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Jardel P. Gonçalves¹ e Washington A. Moura²

¹ Eng. Civil, MSc. em Engenharia Civil, Aluno de doutorado - Laboratório de Estruturas, Programa de Engenharia Civil, COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Caixa Postal 68506 Rio de Janeiro BR, CEP 21945-970. Tel:(21) 2562-8475 – E-mail: jardel@labest.coc.ufrj.br

² Eng. Civil, Dr. em Engenharia Civil, Professor adjunto - Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana - Km 03, BR 116, Av. Universitária, Campus UEFS, Feira de Santana – Bahia - BR, CEP 44031- 460. Tel.(75) 224-8056 – E-mail: wam@uefs.br

RESUMO

A utilização de resíduos de beneficiamento de rochas na Construção Civil apresenta-se como uma alternativa para produção de materiais de construção de baixo impacto ambiental. No processo de beneficiamento de rochas ornamentais (granitos e mármore) é gerado uma grande quantidade de fragmentos que é descartado nos pátios das indústrias. Neste trabalho estão apresentados os resultados sobre a utilização do resíduo de serragem de granito (RSG) como adição para produção de concretos. Na pesquisa foi inicialmente realizada a caracterização física, química, potencial de oxidação do ferro contido no resíduo e de risco ambiental do RSG. Para os concretos produzidos, foi avaliada resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral e parâmetros de durabilidade. A análise dos resultados permite concluir que o resíduo das indústrias de mármore e de corte de granito não apresenta riscos ambientais, que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta melhor desempenho.

INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte dos processos produtivos são fontes geradoras de resíduos podendo causar grande degradação ambiental. A Construção Civil é o setor da atividade de mineração que consome grande volume de recursos naturais e possui ampla variedade de produtos envolvendo uma grande diversidade de matérias-primas, sendo indicado para absorver os resíduos sólidos.

No segmento produtivo das rochas ornamentais são gerados vários tipos de resíduos, que são: da extração do bloco; da serragem para enquadrá-los nas dimensões padronizadas; do processo de corte e de polimento além dos finos da lavra e do beneficiamento. Na serragem cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó, que é colocado nos pátios das empresas. No Brasil a quantidade estimada da geração deste resíduo fino é de 240.000 ton/ano (incluindo resíduo de serragem de

mármore e granitos), sendo 165.000 ton./ano referente ao resíduo de serragem de granito. Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba são os estados que mais geram este resíduo (GONÇALVES, 2000).

Preocupados com o impacto ambiental provocado pela geração de resíduos e considerando o grande volume de resíduo de serragem de granito gerado, alguns pesquisadores desenvolveram pesquisas com o resíduo resultante do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas (CALMON *et al.*, 1997; SILVA, 1998), peças cerâmicas (LIMA FILHO *et al.* 1999; PONTES, 2000) e blocos estruturais (PONTES, 2000).

A Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, na Bahia, vem realizando pesquisas para o desenvolvimento de produtos com a utilização de resíduos sólidos, entre eles o proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais (resíduo de serragem de granito – RSG e resíduos de serragem de mármore e granito - RSMG) como materiais de construção. Nas pesquisas realizadas constatou-se que o RSG e RSMG apresentam grande potencial de aproveitamento como material de construção para produção de concretos, argamassas de revestimento, aterros compactados e lajotas pré-moldadas para piso (GONÇALVES, 2000; MOURA e GONÇALVES, 2002; MOURA *et al.* 2002).

Neste trabalho apresenta-se a avaliação do aproveitamento do RSG como adição para produção de concretos. Foi realizada a caracterização física, química e de risco ambiental do resíduo de serragem de granito (RSG), bem como a sua avaliação do ponto de vista do potencial de oxidação do Fe contido. Foi avaliado também a influência do uso de RSG, como adição, nas propriedades mecânicas e durabilidade dos concretos, em teores de 10% e 20% em relação à massa de cimento.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

caracterização do RSG, foi realizada análise química, difração de raios X (DRX), análise granulométrica laser, microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários, avaliação do potencial de oxidação do ferro contido (DRX em diferentes períodos e ciclos de imersão e secagem) e risco ambiental (ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 1987) e NBR 10006 (ABNT, 1987)). A utilização da adição de RSG nos concretos foi avaliada através da resistência à compressão axial (NBR 5739, 1994) e resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222, 1994)), e como parâmetros de durabilidade a absorção por sucção capilar (Método KELHAM, 1988) e absorção por imersão (NBR 9778, ABNT 1987).

Caracterização dos Materiais

RSG

O RSG foi coletado de uma empresa que utiliza apenas granitos em seu processo de beneficiamento. O processo de coleta seguiu as recomendações da NBR 10007 (ABNT, 1987).

O RSG possui uma massa específica de $2,76 \text{ g/cm}^3$, realizada conforme a NBR 6474 (ABNT, 1985). A caracterização química do RSG consta na Tabela 1, enquanto que na figura 1 mostra a difração de raios X.

TABELA 1 - Composição química do RSG

Compostos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PF
Teor (%)	59,62	12,77	9,49	4,83	1,96	0,03	5,3	2,72	1,98

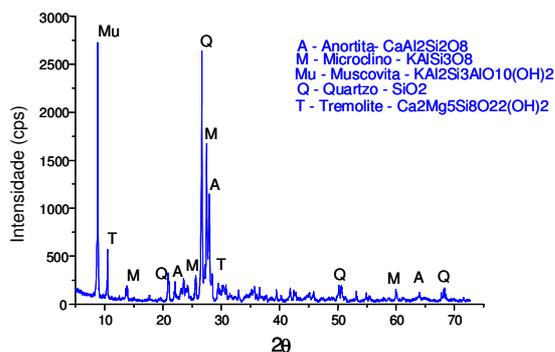


FIGURA 1 - Difratograma de uma amostra de RSG

Pode-se observar que os compostos químicos presentes no RSG se apresentam tipicamente na forma cristalina. Esta característica é típica de compostos estáveis quimicamente, portanto com baixa possibilidade de atividade pozolânica.

Para utilização do RSG como adição em concretos é imprescindível que suas partículas possuam uma granulometria compatível com os microporos, preenchendo estes interstícios e contribuindo para um maior desempenho dos concretos, o que caracteriza seu efeito fíler. Neste sentido, foi realizado um estudo com diferentes tempos de

No programa experimental desenvolvido foi realizada a caracterização do RSG e avaliação da viabilidade técnica para a produção de concretos. Na moagem, num moinho de bolas horizontal, para determinação da granulometria ótima do RSG a ser utilizado. O parâmetro de definição do tempo de moagem foi o diâmetro médio das partículas, determinado através da granulometria a laser. A Tabela 2 apresenta os resultados.

TABELA 2 - Diâmetro médio do RSG, por granulometria laser, em função do tempo de moagem

Tempo de moagem (min.)	Diâmetro médio do RSG (μm)
2,5	6,74
(destorroando)	
40	4,5
50	4,36
60	4,24
80	3,92

Os resultados de moagem apresentados na tabela 2 mostram que apenas com o destorroamento (num tempo de 2,5min) o RSG apresentou um diâmetro médio de $6,74 \mu\text{m}$. Este tempo foi adotado para o destorroamento do RSG.

Visando identificar a forma dos grãos do RSG, foram realizadas, microscopias com MEV por elétrons secundários, conforme ilustra a Figura 2.

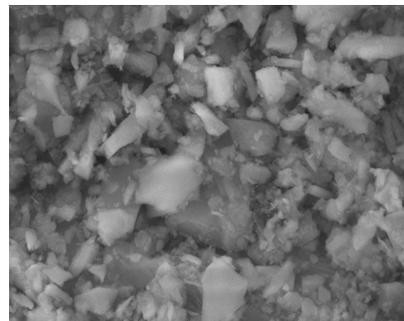


FIGURA 2 - MEV por elétrons secundários: grãos de RSG separados. Aumento de 5000x

A micrografia mostra que os grãos de RSG não apresentam uma forma definida, sendo angulosos.

Para avaliação do risco ambiental do RSG foram realizados os ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo, de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 1987) e NBR 10006 (ABNT, 1987), respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

A NBR 10004 (1987), Resíduos Sólidos – Classificação, classifica os resíduos em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, que podem apresentar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente, nas seguintes

classes: a) resíduos Classe I – perigosos; b) resíduo Classe II – não inertes e c) resíduo Classe III – Inertes.

TABELA 3 - Resultados do ensaio de lixiviação (NBR 10005, ABNT - 1987) e solubilização (NBR 10006, ABNT - 1987) do RSG

Metais Solubilizados			Metais Lixiviados		
Elemento(ppm)	RCG	NBR 10004 (ppm) Limites máximos	Elemento(ppm)	RCG	NBR 10004 (ppm) Limites máximos
Ba	N.D.	1	Ba	0,637	100
Cd (ppb)	N.D.	0,005	Cd	0,16	0,5
Pb (ppb)	N.D.	0,05	Pb (ppb)	N.D.	5
Cr	N.D.	0,05	Cr	0,29	5
Ag (ppb)	N.D.	0,05	Ag	0,0007	5
Cu	0,0024	1	As	N.D.	5
Al	N.D.	0,2	Hg	N.D.	0,1
Fe	0,07	0,3	F	0,391	150
Mn	N.D.	0,1	Se	N.D.	1
Zn	0,011	5	-	-	-
As (ppb)	0,0069	0,05	-	-	-
Hg (ppb)	N.D.	0,001	-	-	-
Se (ppb)	N.D.	0,01	-	-	-
Na	32	200	-	-	-
SO4	8,23	400	-	-	-
Cl	33,7	250	-	-	-
F	3,2	1,5	-	-	-
Fenol	N.D.	0,001	-	-	-
Nitrato	N.D.	10	-	-	-
Cianeto	N.D.	0,1	-	-	-

A partir dos resultados apresentados no ensaio de lixiviação, observa-se que nenhum dos seus compostos apresentou concentração superior em relação às especificações da norma. No ensaio de solubilização, comparando os resultados com os limites estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT, 1987), apenas o flúor apresentou concentração superior. Como o flúor não é uma substância considerada perigosa, o RSG, conseqüentemente, não apresenta riscos à saúde humana, sendo classificado como classe II - não inerte.

AGREGADOS

Os agregados utilizados para produção dos concretos foram, areia quartzosa média, de rio, e agregado graúdo de origem granítica, disponíveis comercialmente. As características físicas estão relacionadas na Tabela 4.

TABELA 4 - Características dos agregados utilizados

	Ag.graúdo	Ag. Miúdo
Dimensão Máxima Característica (mm)	19mm	2,4
Módulo de Finura	7,0	2,45
Massa Específica (g/cm ³)	2,710	2,624
Absorção (%)	0,60	-
Torrões de Argila	S/ Presença	-
Índice de Forma	2,64	-
Massa Unitária (g/cm ³)	1,47	-

ÁGUA

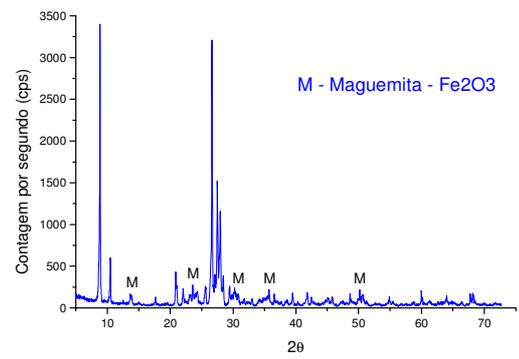
A água utilizada para a produção dos concretos atende as características da NBR 6118 (ABNT, 1980).

Avaliação do Potencial de Oxidação do Fe Contido no RSG

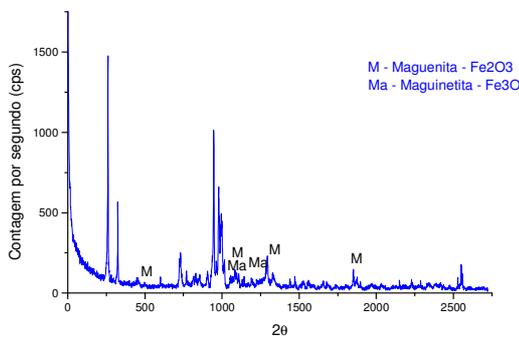
Devido à presença da granalha¹ no processo de serragem dos blocos e a constatação visual da oxidação do ferro contido no resíduo, foi investigado o potencial de oxidação do Fe através de DRX, em amostras do resíduo, após um dia de gerado e em amostras depois de quatro meses da sua geração.

Foi verificada, também, a influência do Fe, em argamassas com adição de 20% de RSG em relação a massa de cimento. As argamassas foram submetidas a ciclos de imersão e secagem.

A seguir são mostrados, na Figura 3 (a) e (b), os resultados das DRX realizadas.



(a)



(b)

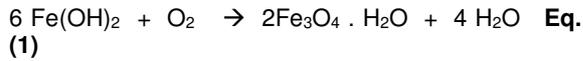
FIGURA 3 - Difração de raios X de amostras de RSG: amostra com um dia de gerada e amostra com quatro meses.

A partir dos resultados apresentados nas DRX pode-se observar que o resíduo apresenta uma fração metálica de íons ferro que estão passando de um estado menos oxidado para um estado mais oxidado. Na amostra com quatro meses após sua geração, há a formação de magnetita em proporções pouco maiores que a verificada na amostra de um dia.

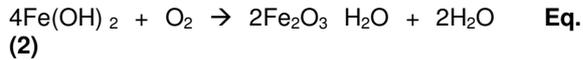
Este fato é esclarecido por KOTZ e TREICHEL (1998), que afirmam que a química da corrosão do ferro na presença da água e oxigênio é 100 vezes mais rápida que na ausência de oxigênio,

¹ Partículas de ferro fundido utilizadas para aumentar a eficiência do processo de serragem das rochas.

e que se não houver oxigênio em abundância, a continuação da oxidação do hidróxido de ferro II fica limitada pela formação de óxido magnético (óxido misto de FeO e Fe₂O₃), conforme equação 1.



Mas, se houver acesso facilitado à penetração do oxigênio e da água, forma-se o óxido de ferro III, conforme equação 2.



AValiação DO POTENCIAL DE OXIDAÇÃO DO RSG POR CICLOS DE IMERSÃO E SECAGEM

A avaliação do potencial de oxidação do Fe contido no RSG em argamassas foi realizada através da comparação do desempenho entre argamassas produzidas sem adição de RSG (referência) e com adição de 20% de RSG, submetidas a ciclos de imersão, em solução contendo 3% de cloreto de sódio, e secagem em painel de lâmpadas. Cada ciclo possui um período de sete dias, sendo que nos primeiros seis dias os corpos-de-prova foram submetidos a secagem e no sétimo dia, imersos. Foram realizados dez ciclos. Neste ensaio é feita uma análise comparativa de três diferentes formas:

- através da avaliação visual dos corpos-de-prova com vistas a identificar uma mudança de coloração devido à presença dos produtos de oxidação;
- avaliação da variação de massa dos corpos-de-prova; e
- verificação da resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova após o último ciclo.

Como parâmetros de controle das argamassas, fixou-se a consistência em 260 +/- 10 mm, que foi determinada pela mesa de consistência padrão, conforme NBR 13276 (ABNT, 1995).

Foram moldados corpos-de-prova 4x4x16cm, sendo 3 para cada traço. A idade de referência para início do ensaio de imersão e secagem foi de 28 dias.

Na Tabela 5, constam os resultados de resistência à tração na flexão das argamassas produzidas.

TABELA 5 - Resistência à tração na flexão das argamassas com e sem adição de RSG

MISTURA	ftfm (Mpa)	CV (%)
1 : 3	5,01	2,0
1 : 4	4,93	1,7
1 : 5	4,07	3,0
1 : 3 : 0,2	4,95	1,5
1 : 4 : 0,2	4,87	2,0
1 : 5 : 0,2	4,11	2,4

Com relação à avaliação visual não houve diferenças no aspecto dos corpos-de-prova, nem foi percebido nenhum ponto específico com tonalidade característica dos produtos de oxidação do Fe.

Observa-se na tabela que não houve diferença significativa nos resultados de resistência à tração na flexão para as argamassas com e sem adição de RSG, provavelmente, devido aos seguintes fatores: pequena quantidade de RSG nas misturas (20% em relação a massa de cimento), sendo que do teor de RSG adicionado, 9,49% são de compostos que contém o Fe; dispersão dos produtos de oxidação na mistura, uma vez que o Fe encontra-se disperso; o possível aumento do volume gerado pelos produtos de oxidação, foi muito pequeno, podendo até colmatar alguns pequenos poros; maior dificuldade de penetração dos íons cloretos na matriz devido a uma maior barreira física causada pela presença do RSG.

Com relação à variação de massa, houve um ganho de massa dos corpos-de-prova, causado, provavelmente, pela fixação dos cloretos na matriz e fixação de cloretos pelo Fe contido. Este ganho foi maior para relações agregado miúdo/cimento, maiores. Nas argamassas com adição de RSG esse ganho foi menor, provavelmente devido à dificuldade de acesso dos íons cloretos.

Com base nos resultados do ensaio, pode-se afirmar que o Fe presente no RSG está se oxidando. Esta evidência foi comprovada pelas difrações de raios X. Os parâmetros avaliados nos ciclos de imersão e secagem não apresentaram informações convincentes sobre o processo de oxidação do Fe contido no RSG.

Alguns estudos têm sido realizados tentando remover o Fe presente no resíduo e, assim, evitar a oxidação do mesmo quando reaproveitado. PONTES (2000), em seu estudo avaliou a purificação da amostra do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais através da remoção do Fe por separação magnética de alta intensidade, encontrando resultados satisfatórios.

Avaliação dos concretos com adição de RSG

DOSAGEM DOS CONCRETOS

Para a dosagem dos concretos utilizou-se o método do IPT/EPUSP, descrito por HELENE e TERZIAN (1992), sendo que os parâmetros de controle foram à obtenção de um abatimento de 60 +/- 10mm e o teor de argamassa seca ideal. Para o concreto de referência, cujos traços são apresentados na Tabela 6, o teor de argamassa seca ideal foi de 50%. Os concretos com 10% e 20% de adição ficaram com teores de 49% e 48%, respectivamente, mantendo-se constante a relação água/cimento.

TABELA 6 - Proporcionalamento (em massa) e parâmetros de dosagem dos concretos executados

Relação a/c	Teor de adição (%)	Cimento	Ag.Miúdo	Ag. Graúdo	Consumo de cimento (kg/m3)
0,4	0	1	1,33	2,32	480
0,55			2,20	3,20	347
0,7			3,07	4,07	271
0,4	10	1	1,12	2,32	491
0,55			1,96	3,19	360
0,7			2,79	4,06	277
0,4	20	1	0,91	2,28	505
0,55			1,69	3,15	364
0,7			2,49	4,00	284

O tempo de mistura dos concretos foi de 4 (quatro) minutos. Porém, no concreto com a/c 0,40 e com 20% de adição, este tempo se estendeu para 6 (seis) minutos, devido ao aumento da coesão e consistência, e uma maior dificuldade de homogeneização da mistura.

Apresentação e análise dos resultados

Propriedades do concreto no estado fresco

A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do ensaio de abatimento de troco de cone, conforme NBR 7223 (ABNT, 1992). O abatimento foi estabelecido como uma variável controlada, fixado na faixa de 60 +/- 10 mm.

Com a adição de RSG nos concretos houve um incremento na coesão e consistência e, conseqüentemente, uma diminuição da exsudação. Este comportamento deve-se, principalmente, ao efeito das pequenas partículas de RSG difundidas pela mistura, que atuam como uma barreira física para o movimento ascendente da água. Este fato pode ser comprovado pela dificuldade de homogeneização da mistura. O comportamento foi conforme esperado.

Propriedades do Concreto no estado Endurecido

A moldagem dos corpos-de-prova de concreto, cilíndricos e prismáticos, foi de acordo às recomendações da NBR 5738 (ABNT, 1994).

Os corpos-de-prova foram desmoldados 24 horas após a moldagem, e mantidos em câmara úmida com temperatura (23°C +/- 2°C) e umidade relativa (>95%) controladas até a idade de cada ensaio.

Para uma melhor verificação da influência do RSG nos concretos e da interação entre as variáveis relacionadas, foi realizada a análise estatística pela ANOVA para todos os resultados encontrados referentes às propriedades do concreto no estado endurecido. Para as análises, o nível de significância adotado foi de 5%. A ANOVA foi realizada através do *software Estatística*.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial foi avaliada nas idades de 7, 28 e 63 dias, de acordo com a NBR 5739 (1994). Os resultados relativos à resistência à compressão axial contam na Tabela 7.

Na Figura 4 está apresentado o gráfico de resistência à compressão axial dos concretos aos 28 dias.

Através da ANOVA foi constatado a significância estatística das variáveis relacionadas, que são a/c, teor de adição de RSG e idade, na resistência à compressão axial. Na tabela 8 está apresentada a análise de influência dos fatores e suas possíveis interações.

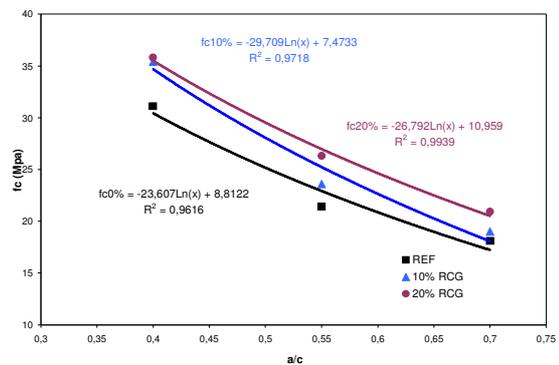


FIGURA 4 - Resistência à compressão dos concretos aos 28 dias de idade

TABELA 8 - Resultados da ANOVA em relação a resistência à compressão axial dos concretos

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	120,22	44,76	3,29	S
2 - a/c	2	1591,1	592,37	3,29	S
3 - Idade	2	260,78	97,08	3,29	S
12	4	3,04	1,13	2,66	NS
13	4	3,67	1,36	2,66	NS
23	4	2,44	0,9	2,66	NS
123	8	5,06	1,88	2,24	NS
ERRO	54	2,68	-	-	-

GDL – Graus de Liberdade MQ – Média Quadrada Fcalc – Valor de F calculado ; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5% S – Efeito significativo; NS – Efeito não significativo

Verifica-se que o teor de adição de RSG, a relação a/c e a idade analisados separadamente possuem efeito significativo sobre a resistência à compressão axial. Porém, não existe interação entre estes fatores. Ou seja, não há influência significativa entre o teor de adição e a idade, entre o teor de adição e a relação a/c e entre a relação a/c e a idade.

Analisando-se isoladamente a influência do teor de adição na resistência à compressão axial verifica-se que os concretos com 10% de adição obtiveram um ganho médio de 8%, enquanto que para os concretos com adição de 20% de RSG houve um aumento médio de 19,6% em relação ao concreto de referência.

O aumento do desempenho dos concretos com adição de RSG pode ser atribuído à sinergia dos seguintes fatores: a) como o RSG não possui atividade pozolânica, seu efeito físico, devido a sua alta finura, promoveu um refinamento na estruturas de poros; b) a distribuição das pequenas partículas de RSG em todo concreto, associada a densificação da interface matriz/agregado. Desta forma,

aumentou o contato entre os produtos hidratados e não hidratados da matriz, produzindo o chamado *effect packing*, ou seja, um maior empacotamento da matriz. Este maior contato representou um somatório de pequenas forças resistentes que contribuíram para o aumento da resistência à compressão

TABELA 7 - Resistência à Compressão Axial dos concretos

		IDADE (dias)								
		7			28			63		
MISTURA	a/c	fc(MPa)	fcm(MPa)	C.V.(%)	fc(MPa)	fcm(MPa)	C.V.(%)	fc(MPa)	fcm(MPa)	C.V.(%)
REFERÊNCIA	0,40	29,0	26,5	8,4	30,4	31,1	3,1	32,4	33,4	3,7
		24,9			30,7			33,1		
		25,5			32,2			34,8		
	0,55	18,2	18,0	1,1	19,0	21,4	10,2	23,6	23,8	23,5
		17,8			23,2			23,1		
		18,0			22,1			23,1		
0,70	12,2	14,0	11,6	16,9	18,1	6,2	19,3	18,5	18,3	
	15,4			19,1			17,2			
	14,3			18,4			17,2			
10% RCG	0,40	27,9	28,4	5,1	35,4	35,4	1,3	36,4	36,1	2,4
		30,0			35,0			36,7		
		27,2			35,9			35,1		
	0,55	18,3	19,0	6,4	21,8	23,6	6,7	26,1	23,9	25,6
		18,3			24,7			26,8		
		20,4			24,4			26,8		
0,70	14,8	13,3	12,6	18,4	19,0	3,2	19,8	20,7	20,3	
	11,5			19,6			20,4			
	13,7			19,1			20,4			
20% RCG	0,40	32,8	31,8	4,5	35,3	35,8	2,8	39,8	39,4	1,0
		32,5			36,9			39		
		30,2			35,1			39,5		
	0,55	18,7	19,4	4,3	26,0	26,3	1,0	26,3	27,0	2,8
		20,3			26,5			27,8		
		19,1			26,3			27,8		
0,70	16,7	17,0	2,9	20,7	20,9	5,1	22,1	22,4	22,1	
	16,8			22,0			21,8			
	17,6			19,9			21,8			

Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral foi avaliada nas idades de 7, 28 e 63 dias, de acordo com a NBR 7222(1994). Os resultados relativos à resistência à tração por compressão diametral contam na Tabela 9.

A partir dos resultados apresentados na tabela 9 foi elaborado o gráfico de resistência à tração por compressão diametral, para 28 dias, conforme Figura 5.

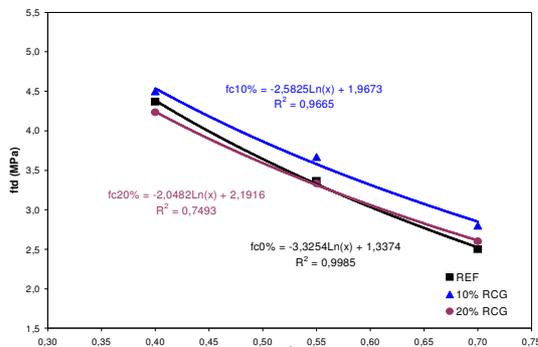


FIGURA 5 - Resistência à Tração por Compressão Diametral dos concretos na idade de 28 dias

Na Tabela 10, está apresentadas a análise de influência dos fatores e suas possíveis interações, realizadas através da ANOVA dos concretos

produzidos em relação a resistência à tração por compressão diametral.

TABELA 10 - Resultados da ANOVA em relação à resistência à tração por compressão diametral

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	1,71	29,76	3,29	S
2 - a/c	2	15,96	276,78	3,29	S
3 - Idade	2	4,97	86,17	3,29	S
12	4	0,15	0,25	2,66	NS
13	4	0,73	12,61	2,66	S
23	4	0,12	2,1	2,66	NS
123	8	0,62	1,10	2,24	NS
ERRO	54	0,57	-	-	-

GDL – Graus de Liberdade MQ – Média Quadrada Fcalc – Valor de F calculado ; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5% S – Efeito significativo; NS – Efeito não significativo

Os resultados da Tabela 10 mostram que há influência significativa do teor de adição, da relação a/c e da idade na resistência à tração por compressão diametral. Verifica-se ainda que há interação entre o teor de adição e a idade.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que os concretos com 10% de adição de RSG apresentaram melhor comportamento em relação aos demais. Os concretos com 10% de adição obtiveram um ganho na resistência à tração por compressão diametral de 7,2%, enquanto que os concretos com 20% um decréscimo de 5,8%, em relação aos concretos de referência. Este comportamento foi diferente do verificado na

resistência à compressão axial, em que as partículas de RSG promoveram ganhos nos teores analisados. Isso comprova o efeito fíler da adição no concreto.

por CABRERA et al. (1998), em seu estudo com concretos de alta resistência com cimento com fíler calcário.

Com relação à resistência aos esforços de tração, o efeito físico do fíler é maior nas primeiras idades, devido à aceleração da hidratação do cimento nestas idades. Fato comprovado também

TABELA 9 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral dos concretos

		IDADE (dias)								
		7			28			63		
MISTURA	a/c	ft(MPa)	ftm(MPa)	C.V.(%)	ft(MPa)	ftm(MPa)	C.V.(%)	ft(MPa)	ftm(MPa)	C.V.(%)
REFERÊNCIA	0,40	3,6	3,5	3,3	4,4	4,4	1,3	5,0	5,2	3,0
		3,4			4,4			5,3		
		3,4			4,3			5,2		
	0,55	3,1	3,2	3,1	3,5	3,4	4,5	4,2	4,1	2,4
		3,3			3,4			4,0		
		3,2			3,2			4,1		
	0,70	2,2	2,4	8,8	2,4	2,5	4,0	3,5	3,7	5,4
		2,3			2,5			3,9		
		2,6			2,6			3,7		
10% RCG	0,40	4,2	4,3	1,4	4,2	4,5	5,9	5,3	5,1	6,3
		4,3			4,6			4,7		
		4,3			4,7			5,2		
	0,55	3,4	3,5	2,9	4,1	3,3	11,0	4,0	4,4	9,1
		3,5			3,3			4,4		
		3,6			3,6			4,8		
	0,70	2,9	2,7	9,8	2,7	2,8	9,4	4,0	3,8	5,5
		2,8			2,6			3,6		
		2,4			3,1			3,7		
20% RCG	0,40	4,2	4,0	5,0	4,1	4,2	7,6	4,5	4,3	10,1
		4,0			4,6			3,8		
		3,8			4,0			4,6		
	0,55	3,5	3,2	8,3	3,3	3,3	10,5	3,6	3,4	3,4
		3,1			3,0			3,4		
		3,0			3,7			3,1		
	0,70	2,3	2,4	4,9	2,8	2,6	7,7	2,5	2,7	7,6
		2,5			2,6			2,9		
		2,3			2,4			2,8		

Como a estrutura dos compostos do RSG é cristalina, não há reação química, ocorre apenas um preenchimento dos vazios. Quando os concretos são submetidos aos esforços de tração, a linha média de fratura passa pela zona de maior fragilidade, que são entre o poro e o fíler, no contato fíler – fíler ou no contato fíler – produtos hidratados/produtos não hidratados, já que não há ligações químicas entre o grão de adição e os compostos adjacentes.

Esse ganho ocorreu, provavelmente, devido a uma sinergia entre o efeito fíler preenchendo os interstícios, com uma maior quantidade de produtos hidratados menores e mais dispersos, gerados a partir da dispersão das partículas de RSG. Este efeito é evidenciado pelos níveis de resistência dos concretos com adição aos 7 dias.

Com adição de 20% de RSG, esta aceleração do processo de hidratação gerando produtos menores, também acontece. Porém, como há uma maior quantidade de partículas de RSG dispersas na mistura, provavelmente há uma maior dispersão dos produtos hidratados. Este fato pode conduzir a uma diminuição da ligação entre os produtos hidratados causando uma deficiência na estrutura da matriz. Isso não acontece com a incorporação da sílica ativa, que além de provocar um refinamento, torna a estrutura de poros dos concretos descontínua (BARATA, 1998).

Parâmetros de Durabilidade

Absorção por sucção capilar

Segundo KELHAM (1988), a absorvidade é a penetração de água num concreto não saturado em função da raiz quadrada do tempo. A absorvidade apresenta-se como uma característica muito importante para a verificação da influência de uma adição no concreto, pois os efeitos causados são refletidos nesta característica. Ou seja, através da absorvidade pode-se constatar o ganho no refinamento da estrutura de poros, promovido pela incorporação da adição. Para avaliação desta característica, utilizou-se o ensaio de absorção por sucção capilar, desenvolvido por KELHAM (1988), adaptado por GOPALAN (1996), o qual baseia-se no monitoramento, ao longo do tempo, do acréscimo na massa aparente de um corpo-de-prova submerso em água e devidamente condicionado. Foram realizados ensaios em concreto com e sem adição de RSG.

A partir dos gráficos de ganho de massa em função da raiz quadrada do tempo, calcula-se a taxa de absorção, resistência capilar e porosidade efetiva. A taxa de absorção, em $g/h^{1/2}$, é obtida através da inclinação da reta ajustada na fase inicial de absorção. A resistência capilar é obtida através do ponto de interseção entre as duas retas, chamado de ponto de saturação. Calcula-se a resistência capilar, em h/m^2 , utilizando a seguinte fórmula (GJORV, 1994):

$$M = ts / e^2 \quad (\text{Eq. 3})$$

onde: M - Resistência capilar (h/m^2); ts - abcissa do ponto de saturação ($h^{1/2}$); e - espessura do corpo-de-prova (m)

A porosidade efetiva representa a porosidade aberta dos concretos em avaliação, uma vez que a porosidade absoluta não se pode medir, pois nem todos os poros estão acessíveis. Para o cálculo da porosidade efetiva utilizou-se a seguinte fórmula, proposta por KELHAM (1988):

$$\text{Pefet.} = (\text{Ganho de Massa} / A.L.\gamma_a) \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

onde: Pefet. -- porosidade efetiva em %; A - área da seção transversal do corpo-de-prova (cm^2); L - espessura (cm); γ_a - massa específica da água (g/cm^3).

Devido à variação dos resultados apresentados em alguns corpos-de-prova de uma mesma amostra de concreto, adotou-se, o conceito de tempo de saturação potencial, ou seja, é o tempo necessário para que se inicie o estágio de saturação das amostras analisadas. Sendo este tempo maior quanto mais refinada for a estrutura de poros do concreto em análise. Os resultados de taxa de absorção potencial, resistência capilar potencial e os tempos de saturação dos concretos estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - Taxa de absorção e resistências capilares potenciais dos concretos produzidos com e sem adição de RSG

CONCRETOS	TEMPO SATURAÇÃO POTENCIAL (h)	TX DE ABSORÇÃO Potencial ($g/h^{1/2}$)	RESIST. CAPILAR h/m^2
REF 0,40	13,23	6,54	21161,25
REF 0,55	10,43	9,13	16768,08
REF 0,70	7,61	10,65	12126,27
RCG 10% 0,40	10,28	5,45	16449,64
RCG 10% 0,55	10,14	8,44	16224,05
RCG 10% 0,70	12,01	8,10	19210,51
RCG 20% 0,40	16,36	7,57	26693,8
RCG 20% 0,55	13,25	8,53	21211,34
RCG 20% 0,70	12,31	9,44	19698,53

A partir dos resultados apresentados na Tabela 11 foram elaborados os gráficos de comportamento dos concretos, conforme figura 6: (a) taxa de absorção potencial e (b) resistência capilar potencial.

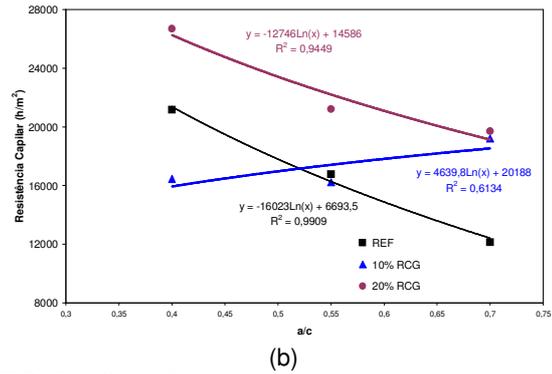
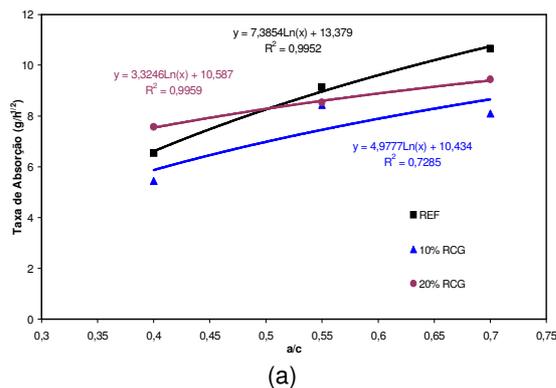


FIGURA 6 - Concretos produzidos com e sem adição de RSG: (a) Taxa de absorção potencial (b) Resistência capilar potencial

Outro parâmetro calculado a partir do ensaio de absorção por sucção capilar foi a porosidade efetiva, que neste caso será a porosidade efetiva potencial, conforme consta na Tabela 12 e representado pela Figura 7.

Para o cálculo do ganho de massa foi necessário realizar uma regressão linear para verificação da massa aparente inicial do corpo-de-prova.

TABELA 12 - Resultados dos acréscimos de massa de cada corpo-de-prova e suas respectivas porosidades efetivas

Traco	Porosidade Efetiva			
	Acréscimo de massa	Porosidade (%)		
		Unitário (g)	Unitário	Média
REF 0,40 / 01	28,26	11,30		
REF 0,40 / 02	42,41	16,96	14,13	11,3
REF 0,55 / 01	31,66	12,66		
REF 0,55 / 02	32,77	13,11	12,89	13,11
REF 0,70 / 01	34,93	13,97		
REF 0,70 / 02	36,94	14,78	14,37	14,78
RCG 10% 0,40 / 01	20,65	8,26		
RCG 10% 0,40 / 02	26,26	10,50	9,38	10,5
RCG 10% 0,55 / 01	33,19	13,28		
RCG 10% 0,55 / 02	29,74	11,90	12,59	11,9
RCG 10% 0,70 / 01	30,07	12,03		
RCG 10% 0,70 / 02	32,82	13,13	12,58	12,03
RCG 20% 0,40 / 01	33,89	13,56		
RCG 20% 0,40 / 02	34,42	13,77	13,66	13,77
RCG 20% 0,55 / 01	33,22	13,29		
RCG 20% 0,55 / 02	32,26	12,90	13,10	13,29
RCG 20% 0,70 / 01	34,93	13,97		
RCG 20% 0,70 / 02	35,88	14,35	14,16	14,35

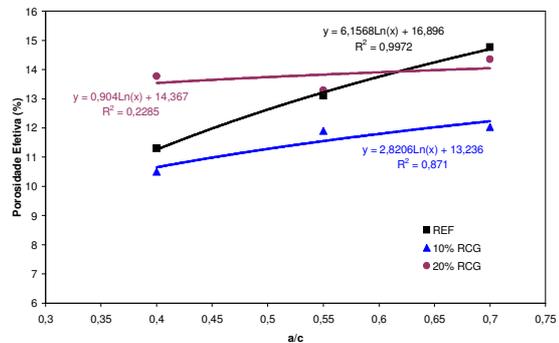


FIGURA 7 - Porosidade efetiva potencial dos concretos produzidos com e sem adição de RSG

Com os resultados mostrados nas Tabelas 11 e 12, realizou-se a ANOVA, encontrando os valores descritos na Tabela 13 para (a) taxa de absorção por sucção capilar, (b) resistência capilar e (c) porosidade efetiva dos concretos avaliados.

TABELA 13 - Resultados da ANOVA em relação: (a) à taxa de absorção; (b) resistência capilar; (c) porosidade efetiva dos concretos avaliados

(a)

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	3,55	71021,8	4,26	S
2 - a/c	2	13,51	270259,1	4,26	S
12	4	1,11	22321,8	3,63	S
ERRO	9	0,00	-	-	-

(b)

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	6,20E+07	1,24E+12	4,26	S
2 - a/c	2	3,20E+07	6,40E+11	4,26	S
12	4	2,07E+07	4,14E+11	3,63	S
ERRO	9	0,00	-	-	-

(c)

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	8,49	169569,80	4,26	S
2 - a/c	2	5,21	104179,10	4,26	S
12	4	1,43	28522,40	3,63	S
ERRO	9	0,00	-	-	-

GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; Fcalc – Valor de F calculado; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5% ; S – Efeito significativo; NS – Efeito não significativo.

Os valores obtidos através da ANOVA, apresentados na Tabela 13 (a), (b) e (c), constata-se que há influência significativa do teor de adição, da relação a/c e a interação entre estas duas variáveis sobre a taxa de absorção dos concretos analisados, resistência capilar e porosidade efetiva.

Com relação ao teor de adição, 10% de adição proporcionou uma redução da taxa de absorção de aproximadamente 20,2%. Porém, com adição de 20% houve um aumento na taxa de absorção em relação ao teor de adição de 10%. As partículas de RSG preenchem os pequenos poros ocasionando uma barreira física ao movimento ascendente da água. Porém, com adição de 20% de RSG houve um incremento bem maior de finos, causando um maior refinamento da estrutura de poros, formando caminhos preferenciais, contribuindo para a absorção por sucção capilar.

MOURA (2000), em seu estudo, verificou que a taxa de absorção capilar para os concretos com adição de 20% escória de cobre diminuiu. Principalmente para relações a/c maiores chegando a reduzir em até 33%, para a relação a/c 0,60. O autor atribuiu este comportamento ao efeito filler da escória de cobre que proporcionou um melhor preenchimento e distribuição dos vazios no concreto. BARATA (1998) verificou que com a adição de 10% de sílica ativa e adição de 10% de metacaulim, as taxas de absorção dos concretos diminuíram 45% e 50%, aproximadamente. Fato atribuído a formação de uma estrutura de poros mais refinada, proporcionada pelo efeito das adições utilizadas.

Segundo COUTINHO (1994), uma elevada percentagem de finos, sem atividade química, favorece ao aumento da absorção capilar.

A adição de RSG também promoveu influência significativa na resistência capilar. Com 10% de adição houve um aumento de 9,6%, e com 20% um incremento de 40,3%, em relação aos concretos sem adição.

Poder-se-ia esperar uma diminuição da resistência capilar com adição de 20% de RSG devido ao aumento da taxa de absorção e porosidade. Este aumento na taxa de absorção deve-se a um maior preenchimento de vazios e maior refinamento da estrutura de poros contribuindo para formação de caminhos preferenciais, favorecendo a absorção por sucção capilar. O aumento na resistência capilar deve-se, provavelmente, a maior dificuldade de penetração da água nesses concretos devido a este maior refinamento, fazendo com que o tempo de saturação seja bem maior.

Nos estudos realizados por MOURA (2000) a adição de 20% escória de cobre no concreto proporcionou um aumento de 17%, em média, na resistência capilar. Este aumento foi atribuído a uma melhor distribuição dos poros e uma maior resistência à passagem de líquidos dos concretos com adição.

O teor de adição de RSG mostrou-se significativamente influente na porosidade efetiva potencial dos concretos. Houve uma redução de 12% na porosidade com a adição de 10% de RSG, e um aumento de 6% com adição de 20% de RSG, em relação aos concretos de referência.

Apesar do incremento na porosidade dos concretos com 20% de adição de RSG em relação aos concretos de referência, não significou redução na resistência à compressão axial. Este comportamento pode ser atribuído à barreira física das partículas de RSG, que contribui para resistência aos esforços de compressão.

Absorção por Imersão

Diferente do ensaio de absorção por sucção capilar, o ensaio de absorção por imersão expressa a absorção de um determinado concreto num tempo e seu índice de vazios, através da relação entre a massa seca e saturada da amostra. Portanto, não considera a velocidade de absorção. Este ensaio foi realizado a frio, conforme a NBR 9778 (ABNT, 1987), com o tempo de permanência de imersão de 96 horas. Foram ensaiados três corpos-de-prova na idade de 35 dias.

A Tabela 14 apresenta os resultados do ensaio realizado com concretos sem adição (referência) e com adição de 10% e 20% de RSG.

Os resultados do ensaio de absorção por imersão estão apresentados na Tabela 14. Na tabela 15 estão apresentados a ANOVA para os índices de vazios.

TABELA 14 - Resultados do ensaio de absorção por imersão dos concretos estudados

CONCRETO	a/c	Absorção (%)	C.V. (%)	Índice de Vazios (%)
	0,40	5,21	2,66	12,13
REFERÊNCIA	0,55	5,69	1,27	13,01
	0,70	6,15	1,73	13,94
	0,40	4,53	2,82	10,71
10% RSG	0,55	5,14	1,02	11,95
	0,70	5,59	4,49	12,81
	0,40	5,53	1,67	12,70
20% RSG	0,55	5,81	3,99	13,31
	0,70	6,16	6,41	14,01

TABELA 15 - Resultados da ANOVA em relação ao índice de vazios

Fator	GDL	MQ	Fcalc	F0,05	Significância
1 - Teor de adição	2	0,94	2080,05	4,26	S
2 - a/c	2	1,15	2563,31	4,26	S
12	4	0,27	59,68	3,63	S
ERRO	9	0,01	-	-	-

GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; Fcalc – Valor de F calculado; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5% ; S – Efeito significativo; NS – Efeito não significativo.

Como a absorção por imersão está diretamente relacionada com o índice de vazios, os valores obtidos pela ANOVA para ambos, mostram que o teor de adição, a relação a/c e a interação entre estas variáveis exercem influência significativas. Como o índice de vazios está relacionado com a quantidade de água absorvida pelos poros acessíveis do concreto endurecido, este tende a apresentar as mesmas proporções de ganho ou perda em relação à absorção por imersão.

Conforme esperado, o aumento da relação a/c promoveu um aumento no índice de vazios. A interação entre o teor de adição e a relação a/c apresentou-se significativa. O teor de 10% de adição apresentou melhor comportamento tanto em relação

8. comportamento em relação aos concretos de referência.
9. A adição de 10% RSG proporcionou uma diminuição da taxa de absorção, um incremento na resistência capilar e diminuição da porosidade efetiva potencial.
10. Portanto, a partir dos resultados obtidos no programa experimental pode-se dizer que, o uso do resíduo de corte de granito (RSG) como adição em concretos é viável tecnicamente, do ponto de vista das propriedades mecânicas e parâmetros de durabilidade avaliados. Com relação ao comportamento global do resíduo de corte de granito como adição em concretos, 10% de adição apresenta-se como o teor ideal.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Escola Politécnica da Bahia (FEP), aos Laboratórios de Tecnologia da UEFS (LABOTEC) e a Rede cooperativa para aproveitamento de resíduos

aos concretos de referência quanto aos concretos com adição de 20% de RSG.

Comparando-se os resultados encontrados na porosidade efetiva potencial, pelo método do KELHAM (1988), com o índice de vazios do ensaio de absorção por imersão, verifica-se que ambos resultados apresentaram mesmo comportamento: o teor de 10% de adição de RSG apresentou um melhor desempenho. Verificou-se também, conforme esperado, o aumento da porosidade com o aumento da relação a/c.

CONCLUSÕES

3. O RSG possui uma forma irregular, angulosa e diâmetro médio de 6,74µm. A estrutura do RSG é tipicamente cristalina, entretanto não foi quantificado a fração vítrea. De acordo a NBR 10004 (ABNT, 1987) pode ser considerado como um resíduo classe II – não Inerte, não apresentando risco ambiental nem à saúde humana.
4. Com relação ao potencial de oxidação, de acordo com as DRX, o Fe presente no RSG está se oxidando. Entretanto, nos estudos em argamassa verificou-se que o nível de oxidação de RSG não influenciou o seu desempenho.
5. As misturas de concretos com adição de RSG apresentaram maior coesão e consistência e uma diminuição da exsudação.
6. Quanto à resistência à compressão axial, a adição de RSG proporciona ao concreto desempenho melhor que o do concreto de referência, em todas as relações a/c e em todos teores.
7. No que se refere à resistência à tração por compressão diametral, os concretos com 10% de adição de RSG apresentaram melhor sólidos na Construção Civil (REDE RECICLAR BAHIA) por terem viabilizado o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – NBR 5738 -Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado. Rio de Janeiro. 1980.
 - NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
 - NBR 7217 - Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 7218 - Agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

- NBR 7220 - Agregados: determinação de impurezas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 7223 - Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992.
 - NBR 9937 - Agregados: determinação da absorção e massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 10004 - Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 10005 - Lixiviação de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 10006 - Solubilização de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 10007 - Amostragem de resíduos, Rio de Janeiro, 1987.
 - NBR 13276 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.
 - NBR 7809 - Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.
 - NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- BARATA, M.S., Concreto de alto desempenho no estado do Pará: estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com materiais disponíveis em Belém e através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998. 153p.
- CALMON, J.L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÉLLO, F.S.S.; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, **Anais**. Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.
- COUTINHO, A. S., Fabrico e propriedades do betão. V. III. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1997. 342p.
- GJORV, O, Important Test Methods for Evaluation of Reinforced Concrete Durability. In: Concrete Technology – Past, Present and Future. Proceedings of V.M. Malhotra (ed.). American Concrete Institute, Detroit, 1994.
- GONÇALVES, J.P., Utilização do resíduo de corte granito, como adição, em concretos. Dissertação de mestrado, NORIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2000. 135p.
- GOPALAN, M. K., Sorptivity of Fly Ash Concretes. Cement and Concrete Reseach, v.26, nº8, 1996, p. 1189-1197.
- HELENE, P.R.L., TERZIAN, P., Manual de Dosagem e Controle de Concreto. Ed. Pini, São Paulo, 1992, 349p.
- KELHAM, S. A, Water Absortion test for concrete. Magazine of Concrete Research, v. 40, nº 10. Jun/1988, p. 106 – 110.
- KOTZ, J. C., TREICHEL, P. JR., Química e Reações químicas. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 3ªed., 1998, vol. II, 731p. (Tradução – Horacio Macedo).
- LIMA FILHO, V. X., BEZERRA, A. C., SANTOS, F. C., NOGUEIRA, R. E. F. Q., FERNANDES, A. H. M., Determinação de parâmetros para a racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Anais. nov/1999, São Paulo.
- MOURA, W. A., Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS. 2000. p.192. Tese (doutorado).
- MOURA, W. A; GONÇALVES, J. P., “Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (Mármore e Granitos) na Construção Civil”. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu/PR, maio/2002.
- MOURA, W. A; GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S., “Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso”. In: Revista Sitientibus, UEFS, Feira de Santana/Ba, v.26, p.49 - 62, 2002.
- PONTES, I., F., “Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos”. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, EPUSP, 200. 150p.
- 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 (mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 1998, 159 p.

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS FINOS DAS SERRARIAS DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA/RJ

Eduardo Augusto de Carvalho¹, Antônio Rodrigues de Campos¹, Carlos César Peiter¹ e José Carlos da Rocha²

¹ Centro de Tecnologia Mineral – Av. Ipê 900, Cid. Universitária . Ilha do Fundão. Rio de Janeiro.RJ.
ecarvalho@cetem.gov.br; acampos@cetem.gov.br; cpeiter@cetem.gov.br;

² Instituto Nacional de Tecnologia – Av. Venezuela, 82 . Santo Cristo. Rio de Janeiro. RJ.
techmat@techmat.com.br

RESUMO

A extração de rochas ornamentais em Santo Antônio de Pádua, RJ, teve o seu início nos primeiros anos da década de 50. A produção cresceu substancialmente nos últimos dez anos, quando as rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua passaram a ser utilizadas principalmente nos revestimentos de paredes e pisos, contrastando com o uso inicial de piso de currais. Em Santo Antônio de Pádua são comercializadas dois tipos de rochas: a pedra paduana (também chamada de miracema) e a pedra madeira.

O grande volume de perdas na lavra e no beneficiamento dessas rochas, estimado em cerca de 80% do extraído, vem ocasionado graves problemas ambientais na região. Um destes problemas é o lançamento no Rio Pomba e seus afluentes dos finos de serragem provenientes do corte das rochas em serras de disco diamantado. Após o tratamento do efluente das serrarias é gerado um resíduo sólido, que após uma etapa de secagem e desagregação pode ser utilizado na formulação de argamassas, em cerâmica vermelha e na formulação de borrachas.

O presente trabalho dará ênfase no estudo de alternativas tecnológicas para aproveitamento desses resíduos finos. Os melhores resultados foram obtidos na formulação de argamassas comum e colantes. As propriedades alcançadas pela argamassa gerada com os finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua, nos estudos realizados até o momento, são no mínimo idênticas às das argamassas produzidas pelos fabricantes líderes desse segmento no mercado. A utilização dos finos dos resíduos do corte das rochas de Santo Antônio de Pádua na formulação de argamassas colantes e comum, além de mitigar o impacto ambiental, proporcionará um aumento do número de empregos na região, cuja economia hoje está bastante centrada na exploração, beneficiamento e comercialização das rochas ornamentais.

INTRODUÇÃO

Localizada a cerca de 300 quilômetros da cidade do Rio de Janeiro, Santo Antônio de Pádua apresenta uma população de 39.000 habitantes e um Produto Interno Bruto em torno de R\$ 4.360,00. Sua economia está centrada na indústria de papel, na oleicultura e, principalmente, na indústria de rochas

ornamentais. O número de empregos diretos no setor está estimado em torno de 2.000, em empresas registradas. Na economia informal desse setor estima-se mais 4.000 empregos diretos em empresas que não se encontram legalizadas (Villaschi et al., 2000).

A extração de rochas ornamentais na região de Santo Antônio de Pádua começou a crescer a partir de 1980, com o início da utilização dessas rochas na construção civil. A rocha existente na região é classificada geologicamente como um milonito gnaise, sendo oriundo de um metamorfismo de rochas ígneas à semelhança dos gnaisses. A rocha apresenta variedades localmente conhecidas comercialmente como pedra madeira, olho de pombo, pinta rosa e granito fino. As três últimas variedades são comercializadas como pedra “paduana” e apresenta uma cor cinza. Esse tipo de material é o mais abundante na região, sendo utilizada no revestimento de paredes, muros, pisos, paralelepípedos e brita para construção civil. A pedra “madeira” apresenta como cores predominantes o rosa, o amarelo e o branco, sendo também utilizada no revestimento de paredes, muros e pisos.

O beneficiamento é feito manualmente e de maneira bastante rudimentar, com a presença de pouquíssimos especialistas. Nas serrarias, as lajes são serradas e abertas em lajotas de 47 x 47 x 4 cm (Figura 1), sendo em seguida desdobrada em lajinhas de 23 x 23 x 1,5 cm e 11,5 x 11,5 x 1,5 cm e bloquinhos de 23 x 11,5 x 4 cm. As perdas nas pedreiras e serraria da região são estimadas em torno de 80%, ocasionando profundos problemas ambientais, como acúmulo de rejeitos próximos a lavra e as serrarias, poluição sonora além da contaminação do Rio Pomba e seus afluentes com finos de serraria (resíduos sólidos) provenientes do corte das serras.

Recentemente, com a instalação de 46 unidades de tratamento de efluentes (Figura 2) nas serrarias de Santo Antônio de Pádua provocou uma forte redução da contaminação do Rio Pomba e seus afluentes. As 46 serrarias que apresentam unidades de tratamento de efluentes apresentam um total de 138 unidades operacionais de serras, gerando cerca de 720 t/mês de produto fino. Cerca de 95% da água presente nos efluentes das serrarias passou a ser reciclada, enquanto o resíduo sólido é removido dos tanques de decantação, através do uso de bombas auto-escovante, até uma área próxima aos tanques onde é realizado a pré-secagem do mesmo. O resíduo sólido após um período de secagem de cerca de 15 dias, apresenta cerca de 40% de

umidade. Devido a falta de locais adequados para o depósito desse resíduo sólido, o mesmo passou a ser um novo problema.



FIGURA 1 – Transformação da laje da rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua em lajotas de 47 x 47 x 4 cm.



FIGURA 2 – Ao fundo, Unidade de tratamento de resíduos em serraria de Santo Antônio de Pádua. Na parte inferior da Figura, observa-se a pré-secagem do resíduo sólido, após a remoção do mesmo dos tanques de sedimentação.

Características do resíduo sólido dos efluentes das serrarias

Segundo Rocha (1999) O resíduo sólido é constituído basicamente de partículas com tamanho inferior a 100 μm , apresentando um d_{50} (tamanho, no qual 50% das partículas são passantes) em torno de 26 μm . Os resíduos oriundos do corte da pedra miracema apresenta composição de fases sempre com a presença de mica (biotita, moscovita), o que confere a cor escura a sua textura, sendo o seu feldspato do tipo plagioclásio (silicato alumínio, sódio e cálcio ou alumínio-sódio ou alumínio-cálcio), ao passo que a mesma não é observada nos resíduos da pedra madeira, sendo constituída de feldspato pagioclásio e feldspato K (microclina).

O resíduo apresenta uma densidade aparente de 1,43 g/cm^3 . A Tabela 1 apresenta a composição química típica tanto do resíduo oriundo do corte da pedra “paduana”, quanto da pedra miracema. Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 se mostram maiores na pedra madeira, enquanto os teores de CaO e Fe_2O_3 são relativamente menores. As diferenças explicam a diferença de resistência a abrasão entre as duas rochas ornamentais (Tabela 2).

TABELA 1 – Composição química típica dos resíduos oriundos do corte da pedra “paduana” quanto da pedra madeira, de Santo Antônio de Pádua.

Elementos	Pedra “paduana” (%)	Pedra madeira (%)
SiO_2	70-75	70-75
Al_2O_3	10-20	10-20
K_2O	1-10	1-10
Na_2O	1-10	1-10
Fe_2O_3	0,1-5	1-10
CaO	0,1-5	1-10

TABELA 2 – Resistência ao desgaste Amsler das rochas de pedra madeira e pedra “paduana”.

Amostra	Resistência à abrasão (D500m / D1000m)
Pedra madeira	0,43 mm / 0,94 mm
Pedra “paduana”	1,20 mm / 2,2 mm

Aproveitamento dos resíduos sólidos dos efluentes das serrarias de Santo Antônio de Pádua

O resíduo sólido, principalmente da pedra “paduana”, vem sendo utilizado na formulação de tijolos para fins estruturais e de bloquetes para calçamento de ruas e calçadas. Até o momento, essa é a única alternativa tecnológica para os resíduos sólidos, mas de impacto limitado, já que a produção de tais produtos em Santo Antônio de Pádua é bastante reduzida. Nessas formulações, a quantidade de resíduos é bastante reduzida, já que um uso maior desse implicaria em um uso maior de cimento na composição, para a correção do fator água-cimento, elevando dessa forma o custo do produto.

Um estudo recente realizado pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), para o projeto RETECMIN-RJ, avaliou novas alternativas tecnológicas para a utilização desses resíduos, além daquela já mencionada anteriormente. Foram verificadas a utilização dos mesmos na formulação de argamassas, na fabricação de cerâmica vermelha e na formulação de borracha.

Na fabricação da cerâmica vermelha, os resíduos sólidos do corte da pedra paduana podem substituir a argila “magra” utilizada nessa formulação. Foram realizados ensaios com uma

argila de Rio Bonito, município próximo a Niterói, RJ, utilizando 10%, 20% e 30% de uma mistura do resíduo sólido com feldspato, sendo realizada a queima dos tijolos produzidos em temperatura de 1050°C e 1200°C. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados de perda ao fogo, de retração linear e de absorção de água para diferentes teores da mistura do resíduo sólido com feldspato na formulação da cerâmica vermelha em diferentes temperaturas de queima.

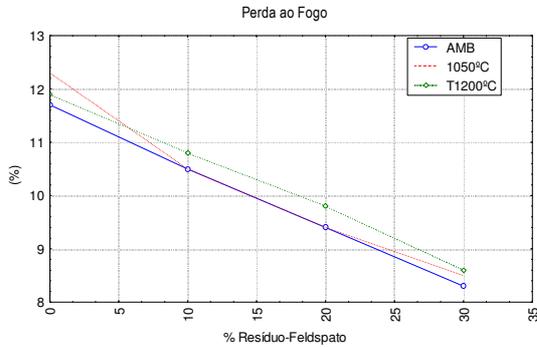


FIGURA 3 – Perda ao fogo das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.

A adição dos finos de serraria permitiu a redução de cerca de 25% da perda ao fogo da cerâmica vermelha, além de diminuir a retração linear da mesma. Essa menor retração linear pode ser explicada pela redução do teor dos óxidos fundentes da mistura.

A utilização dos resíduos como carga em formulações de borracha foi avaliada comparativamente a outras cargas normalmente utilizadas. Verificou-se a possibilidade do uso do resíduo em até 40% em volume nas formulações elastoméricas. No entanto, a utilização do resíduo provocou uma forte redução da resistência a tração da borracha (Tabela 3). Essa redução pode ser explicada pelo problema de acoplamento entre a cadeia polimérica e o resíduo.

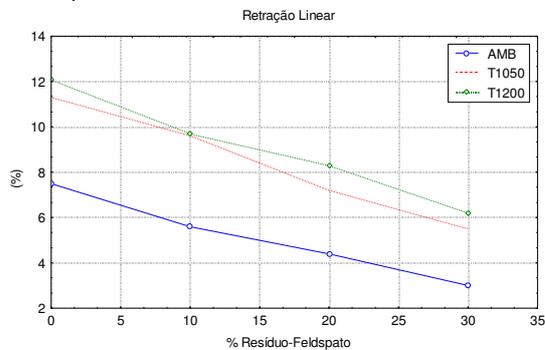


FIGURA 4 – Retração linear das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.

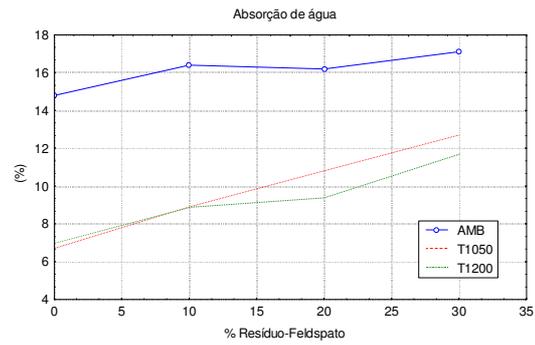


FIGURA 5 – Absorção de água das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.

A aplicação dos resíduos na formulação da argamassa industrial substituindo o calcário, matéria-prima normalmente utilizada nas formulações, apresentou excelentes resultados (Figura 6). A resistência à compressão da argamassa produzida com os resíduos do corte das serrarias após o terceiro dia de cura foi cerca de 2% superior a da argamassa existente no mercado. Após o sétimo dia e também após o vigésimo oitavo dia, a resistência à compressão foi cerca de 5% superior a argamassa de mercado.

TABELA 3 – Valores de resistência à tração de diferentes formulações elastoméricas.

Composição	Resistência à tração (MPa)
40% de negro de fumo	30
40% de caulim	5
40% de resíduos do corte de serrarias	3

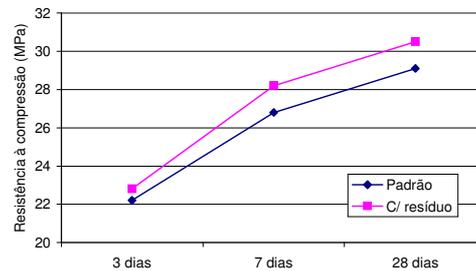


FIGURA 6 – Resistência à compressão da argamassa padrão e da argamassa produzida com os resíduos do corte das rochas ornamentais produzidas em Santo Antônio de Pádua.

Em um ensaio realizado por um fabricante de argamassas industriais, a argamassa produzida com os finos de serraria foi aplicada em um tijolo cerâmico comum, sem chapisco, seco e escovado. Para aplicar a argamassa foi adicionado cerca de 14,3% de água, sendo que a mistura final apresentou boa trabalhabilidade e aderência à fresco e facilidade de corte na régua. A massa foi sarrafeada após 15 minutos da aplicação, sendo que após 15 minutos foi realizado o desempenho e, com mais 15 minutos, a massa foi queimada com desempenadeira de aço. Após esses procedimentos, pode-se verificar o bom acabamento (Emboço Paulista) obtido com a argamassa. Observou-se que o restante da massa, mesmo após 30 minutos da aplicação, apresentava boa plasticidade, facilitando o espalhamento. Por ser entregue ainda úmido ao fabricante e também por apresentar uma grande quantidade de partículas aglomeradas, os resultados dos ensaios de verificação da quantidade de ar incorporado (11,7%) e o de resistência à aderência, após 28 dias de cura (0,23 MPa) podem ter sido comprometidos. A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios com a argamassa produzida com os finos das Serrarias de Santo Antônio de Pádua, realizados pelo fabricante de argamassas industriais.

TABELA 4 – Propriedades obtidas na argamassa produzida com os resíduos finos do corte de rochas de Santo Antônio de Pádua, em uma fabricante de argamassa industrial.

Propriedade	Valor
Retenção de água	90,3 %
Consistência	254 mm
Densidade	2,017 g / cm ³
Ar incorporado	11,7%
Resistência de aderência à tração 07 dias	0,20 Mpa
8 dias	0,23 MPa

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos tanto nos estudos realizados pelo Instituto Nacional de Tecnologia quanto por um fabricante de argamassa industrial pode-se observar que os resíduos do corte das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua podem ser aproveitados como matéria-prima para a fabricação de argamassa industrial. No entanto, serão necessários alguns ajustes das propriedades do produto, como por exemplo controle de granulometria (apenas 5% das partículas com tamanho superior a 74 µm) e da umidade (inferior a 1% de água presente na amostra) para que a resistência a aderência após 28 dias (superior a 0,3 MPa) e a quantidade de ar incorporado ao produto apresentem melhores resultados.

A utilização dos resíduos em formulações elastoméricas provocou uma forte redução da resistência a tração da borracha, devido a dificuldades no acoplamento entre a cadeia polimérica e o resíduo.

Outra aplicação dos resíduos com bom resultado foi na fabricação da cerâmica vermelha, substituindo a argila “magra”. A adição dos resíduos ocasionou uma redução de cerca de 25% da perda ao fogo, além da diminuição da retração linear da cerâmica vermelha.

O presente estudo visualizou duas novas alternativas para consumo dos finos gerados durante o corte das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua, reduzindo dessa forma o impacto ambiental provocado por esses e permitindo a criação de novas frentes de emprego para a região. Além da utilização na fabricação de tijolos estruturais e bloquetes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Villaschi Filho, A.; Pinto, M.M. Arranjos Produtivos e Inovação Localizada: o caso do segmento de rochas ornamentais do noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Final para o Contrato BNDES/FINEP/FUJB – Arranjos e Sistemas Produtivos Locais e Novas Políticas de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico, Instituto de Economia da UFRJ, dezembro, 2000.

Rocha, J.C. Apoio ao Setor Produtivo de Pedras Ornamentais de Santo Antônio de Pádua. Relatório Parcial 02 para a REDE RECOPE/RETECMIN, julho, 1999.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE ROCHA ORNAMENTAL

José Lins Rolim Filho^{1*}, Márcio Luiz de S. C. Barros^{2*}, Júlio César de Souza^{1*}, Ana Isoíla C. F. Fonseca^{3*}, Kílma C. B. da Cunha^{3*}, Antônio C. S. dos Santos^{3*} e Gustavo Alexandre Silva^{3*}

¹Dr., Prof. DEMINAS/UFPE

²M. Sc., Prof. DEMINAS/UFPE

³Bolsista/PIBIC, Graduanda, DEMINAS/UFPE

*Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901 – Recife – PE

Fone: (81) 3271-8245 / 3271-8246

E-mail: mlbarros@npd.ufpe.br; jcsouza@npd.ufpe.br

RESUMO

O trabalho realizado constitui em levantar formas de reaproveitar os resíduos de marmoraria e de serrarias, associado a rejeitos em geral da indústria mineral, principalmente aqueles que apresentam granulometria apropriada e minerais que mostrem iridiscência.

O trabalho em si constitui-se em associar um aglomerante resinoso e transparente de baixo custo com resíduos de rocha ornamental e rejeitos de mineração de caulim.

A resina associada com os resíduos minerais apresenta uma boa iridiscência o que salientou a estética e qualidade do material elaborado. Como a resina epóxi apresenta um custo relativamente alto a sua finalidade é apenas para servir de suporte, agente aglomerante e transparente para a placa formada.

A espessura que mostrou os melhores resultados em termos de beleza estética e resistência mecânica, sem interferir na qualidade da matéria e custo excessivo de produção foi de 7 mm.

Posteriormente a forma foi complementada com aglomerante de maior resistência e baixo custo de aquisição de forma a não permitir flexão, nem ruptura na placa então formada. No que se refere a qualidade estética das placas obtidas, estima-se grande possibilidade de uso como material de decoração de interiores como por exemplo no acabamento de móveis e confecção de tampos de mesa, etc.

INTRODUÇÃO

Na indústria mineral são gerados diversos tipos de rejeito sólido em várias faixas granulométricas e em grande quantidade, com amplas possibilidades de serem aproveitados na confecção de objetos de decoração na indústria de construção civil.

Estes rejeitos quando relacionados apresentam características estéticas adequadas e

que mostram padrões de beleza capazes de serem aceitos pelos consumidores, no caso obras de decoração e mesmo obras industriais, como placas de revestimento, tampos de mesas, etc.

Com tal pensamento e associado ainda a redução dos danos ambientais, pois todo o material utilizado é material rejeitado no processo de fabricação de mesas e placas de rochas ornamentais, e de outras indústrias minerais do Nordeste, fez com que o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (DEMINAS/UFPE), dentro da disciplina Empreendedorismo, através de seus professores e alunos, partisse para experimentos com tais substâncias.

A princípio foram utilizados para ensaios os rejeitos resultante de indústria de beneficiamento do caulim, serrarias e marmorarias das indústrias do setor de rochas para fins ornamentais.

REJEITO DE CAULIM

Foram analisados os rejeitos de caulim, seus componentes básicos, e granulometrias, ficando descartado parcialmente o material mais fino, abaixo de 20 mesh (ABNT), para posterior aproveitamento em outros experimentos.

Do rejeito grosseiro com elevado teor de mica (muscovita), foi associado a este, incluindo-se aí os grãos de minerais opacos (quartzo e feldspatos), um aglomerante transparente e obtendo-se assim placas com efeito de grande iridiscência (minerais que apresentam uma série de cores espectrais em seu interior ou sobre uma superfície), e beleza ornamental, Figura 01.



FIGURA 01 – Placas de resina com associação de rejeitos de caulim e outros resíduos minerais

O procedimento de confecção de tais placas foi realizado segundo as seguintes medidas:

Sobre uma superfície plana e polida (vidro), foi montada um desmoldante pastoso de forma a não interferir na escultura (placa) formada. Em seguida foi adicionado sobre o molde uma resina de poliéster cristal até o ponto de início da pega (endurecimento), foi então adicionado sobre esta primeira camada, o material com a granulometria e coloração desejada (rejeito de caulim mais alguns minerais coloridos: vermelho; verde; azul, etc. e, posteriormente completado a forma com resina associada a fibras de vidro em forma de trama (colocadas umas sobre as outras de maneira transversal), para evitar assim a ruptura e ou a deformação da placa então formada desta forma.

Neste primeiro experimento foi obtido placas com excelentes qualidades tecnológicas, com resistência ao impacto de corpo duro de até 50 cm, para placas de 1 cm (um) de espessura. Tal placa quando retirada do seu molde e dado acabamento com polimento manual apresentou a mesma uma grande iridiscência, na muscovita e translucidez, isto demonstra uma grande beleza quando usado em tampos de móveis, Figura 02.



FIGURA 02 - Placas de resina com associação de rejeitos de caulim e outros resíduos minerais

A desvantagem de tal material reside na sua baixa dureza superficial, sendo facilmente riscável e um pouco inflamável, entretanto tais desvantagens, podem ser contornadas conforme a experiência seguinte na qual a resina foi utilizada sem o desmoldante ficando assim associada ao vidro de espessura de 1mm, conferindo a este um padrão de beleza, resistência de segurança na ruptura.

REJEITOS DE MARMORES

Num segundo experimento foram utilizados resíduos de placas de indústria de marmoraria junto com aglomerantes nos mesmos moldes dos experimentos já descritos anteriormente. Entretanto neste caso a forma passou a ser preenchida com argamassa de cimento. Obteve-se placas com excelentes qualidades técnicas e um belo padrão de beleza.

No experimento aqui denominado de experimentos básicos para pisos, foi utilizado como aglomerante o cimento branco em película de 3 mm (três) e preenchido a forma com cimento convencional. Neste caso obteve-se placas para ornamentação em pisos e paredes com grande atrativo comercial, Figura 03.

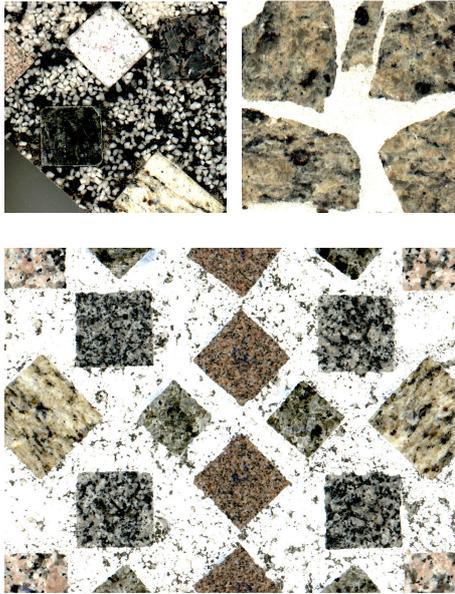


FIGURA 03 – Ladrilhos de granito produzidos com cimento branco para confecção de piso

REJEITOS DE MINERAIS DE FERRO E GRANADAS

Neste experimento, observando a dureza decorrente de alguns minerais em rejeito de mineração, foi ensaiado a fabricação de lixas para os mais devidos fins.

Neste experimento usou-se rejeito de granadas moídas e minerais de ferro, descartados dos processos de beneficiamento das indústrias. De tal experimento resultou numa lixa de alta qualidade principalmente no uso com madeiras, com boa aderência no filme aglomerante, provocando um menor desgaste na lixa, Figura 4.

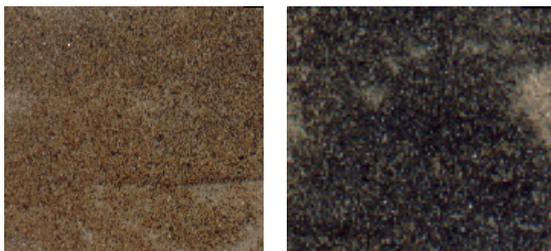


FIGURA 4 – Lixas confeccionadas com rejeitos de granada

REJEITO DE CAULIM

Com o rejeito de caulim após lavados com escubagem e depois secados foi possível a confecção de placas de fulget de excelente qualidade podendo ser associado a este material pigmento e ou mesmo minerais que apresentem fluorescência, o que resultam num excelente revestimento de paredes internas e ou externas, a pigmentação (minerais fluorescente), tem

perspectivas excelentes de mercado em obras de arte e em construção civil, como: boates, casas de show, e com uso de uma iluminação incidindo diretamente sobre o revestimento com luz ultra violeta, Figura 5.



FIGURA 5 – Placas de fulget obtidas com rejeitos minerais diversos (vermiculita, granada, mármore e ferro)

OUTROS ENSAIOS

Outros experimentos que se pretende desenvolver está intimamente ligado aos rejeitos argilosos das minerações de gipsita do Araripe, tal trabalho em fase inicial de processamento tende a reconduzir tal aproveitamento em formação de pigmentos, cargas para tintas, papéis e vernizes.

CONCLUSÃO

As dificuldades iniciais são enormes devido á vários fatores: inicialmente o projeto não conta com apoio financeiro de órgãos oficiais, e tampouco de apoio privado; toda a compra de material para a execução dos ensaios é fornecido pelos professores e alunos envolvidos no projeto; além da dificuldades iniciais de se trabalhar com resinas, colantes, vidro, papel, etc., pois isto se apresentou de uma maneira mais difícil do que o pensado no início do projeto, além de outras dificuldades inerentes ao projeto, mas que vão pouco a pouco sendo sanadas.

Do exposto, acima vimos, que as oportunidades de aproveitamento de rejeitos de várias minerações com diferentes minerais envolvidos, que hoje causam problemas ambientais. Os mesmos poderiam ser utilizados em vários produtos que podem ser comercial e economicamente explorados, gerando empregos em regiões carentes a contribuindo para diminuir os problemas ambientais que ocorrem no em torno das minerações.

III SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE
HOTEL RECIFE PALACE
RECIFE – PE, 26/11/02 A 29/11/02

PROMOÇÃO



PATROCÍNIO



APOIO



SINDIPEDRA-PE

REALIZAÇÃO

