



**Coordenação de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas - CATE**  
**Centro de Tecnologia Mineral - CETEM**  
**Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI**

## **PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**Vanildo Almeida Mendes**  
Geólogo, CPRM/MME

**Maria Angélica Batista Lima**  
Geóloga, CPRM/MME

**Marcos Nunes Marques**  
Eng. de Minas, UNIMINAS

**Rio de Janeiro, junho de 2014**

**CCL-0017-00-14 CAPÍTULO DO LIVRO TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS:  
PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO. Vidal, F.V.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N. F. Rio de  
Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85– 8261-005-3. p 99 - 150**

# Capítulo 3

---

## Pesquisa de rochas ornamentais

*Vanildo Almeida Mendes, Geólogo, CPRM/MME  
Maria Angélica Batista Lima, Geóloga, CPRM/MME  
Marcos Nunes Marques, Eng. de Minas, Consultor UNIMINAS*

# 1. Tipos e características dos depósitos

## 1.1. Considerações gerais

Este capítulo contempla a natureza geral dos depósitos de materiais rochosos, abordando de forma sequenciada as definições, o estudo e a identificação de um depósito com o propósito de transformá-lo em um empreendimento mineiro. A tentativa de realizar classificações precisas dos depósitos de rocha é uma tarefa árdua: todos os depósitos são diferentes, razão pela qual as pedreiras, desenvolvidas a partir deles, apresentam diferentes configurações. Ao elaborar um esboço é útil fazer referência aos principais grupos comerciais (mármore, granitos e outros materiais rochosos), com ênfase nos mármore e granitos.

A carência de conhecimentos prospectivos na identificação dos caracteres geológicos e tecnológicos, no sentido de qualificar e quantificar os mais variados litotipos para fins ornamentais, constitui fator marcante deste segmento produtivo brasileiro. O texto em evidência visa mostrar a importância da atividade de pesquisa, no âmbito desses empreendimentos mineiros abordando as tipologias e forma dos jazimentos, a relação entre os eventos tectônicos atuantes e a formação das ocorrências. Foram, também, feitos comentários sobre o conhecimento dos fatores geológicos, sua avaliação e colocação em bases técnicas adequadas durante a elaboração dos trabalhos de pesquisa regional. Discorre sobre a sistemática da pesquisa geológica de detalhe e da necessidade da realização do levantamento estrutural do depósito. Em sequência enfatiza-se o tratamento dos parâmetros obtidos, mediante projeção estereográfica, visando definir o campo de tensões atuantes sobre a jazida e a partir da elaboração do bloco de partição verifica-se a melhor direção para o corte, de forma a propiciar a abertura da frente de extração.

## 1.2. Tipologia dos jazimentos

Os jazimentos de rochas ornamentais acham-se intensamente controlados pelos eventos tectônicos atuantes em determinada região. Portanto, para o perfeito conhecimento e estudo de uma jazida deve-se levar em consideração o contexto tectônico-estrutural da área a ser prospectada e sua ambiência geológica, fatores estes que interferem diretamente na formação da ocorrência a ser trabalhada, tipologia, formato e dimensões do corpo.

No setor das rochas ornamentais, os denominados granitos constituem, na realidade, as litologias ricas em silicatos, sendo também denominadas por esse motivo, por alguns autores, como rochas silicáticas. Englobam o granito propriamente dito e outras rochas como granodioritos, gabros, sienitos, monzonitos, dioritos, gnaisses, migmatitos, xistos, quartzitos, metaconglomerados, calossilicáticas e milonitos.

Em virtude de sua maior continuidade espacial, os depósitos de granito podem ser considerados como maciços montanhosos isotrópicos; além das irregularidades genéticas do material, eles apresentam características espaciais muito mais constantes. Do ponto de vista morfológico, os depósitos de granito apresentam-se com formas arredondadas, geralmente precedidas pela presença de massas subesferoidais com volume variando desde poucos a centenas ou milhares de metros cúbicos, separadas, por processos físico-químicos, do afloramento rochoso no qual se encontravam. Esses corpos, conhecidos como matacões, são remanescentes dos processos de alteração superficial, essencialmente visíveis nas descontinuidades das rochas cujas superfícies (jun-

tas, fraturas) geram planos de fraqueza dentro da rocha direcionando a alteração e, separando a porção delimitada por estes planos do restante da massa rochosa. Posteriormente, desenvolve-se uma esfoliação concêntrica que conduz, de forma mais ou menos rápida, à formação de corpos subarredondados a arredondados de diferentes dimensões. Devido à tipologia dos depósitos, a extração de blocos de granitos ornamentais, no Brasil, é feita a partir de jazimentos a céu aberto, associados a maciços rochosos (*stocks*, batólitos etc.) ou a grandes praças de matacões. Em muitos casos, a lavra se inicia nos matacões dispostos no terreno constituindo uma praça, evoluindo para a lavra em maciço por meio de bancadas, onde é formada a pedreira propriamente dita. A altura, disposição das bancadas e profundidade das pedreiras variam em função do condicionamento geológico de cada jazida.

No que concerne às rochas cristalinas ditas metamórficas, tais como metaconglomerados, quartzitos, gnaisses e migmatitos, a forma de ocorrência pode variar desde bolsões, lentes a grandes estratos de amplitude regional, resultantes da ação dos processos metamórficos atuantes em determinada região. No caso das grandes unidades geológicas aflorantes, como os terrenos gnáissico-migmatíticos, as condições para a existência de jazimentos de rochas ornamentais vem determinadas, essencialmente, pela mineralogia que define a cor do litotipo e pela ação dos eventos tectônicos que imprime o padrão estrutural à rocha.

As tipologias dos jazimentos de calcários cristalinos associam-se em sua grande maioria ao tipo lenticular havendo porém casos de depósitos relacionados à forma estratiforme, exemplificados pelos mármore Rosa Precioso e Imperial Pink, localizados no interior do Estado da Bahia. Tratando-se de depósitos de mármore de origem sedimentar, em geral, as ocorrências são do tipo estratiforme e pertencem às grandes unidades geológicas que compõem a cobertura fanerozoica das bacias sedimentares do escudo brasileiro. Como exemplos desses jazimentos têm-se o Crema Marfim extraído da Formação Jandaíra na Bacia do Apodi, no território cearense, e o denominado Bege Bahia, que constitui um calcário de idade quaternária pertencente à Formação Caatinga aflorante em áreas dos municípios de Ouro-lândia e Juazeiro no Estado da Bahia.

### **1.3. Os eventos tectônicos atuantes e a formação dos jazimentos das rochas ornamentais brasileiras**

O território brasileiro, devido à excepcional diversidade geológica do seu embasamento cristalino, evidencia uma ampla vantagem competitiva em termos de rochas ornamentais, mais precisamente de litotipos ricos em minerais silicáticos, conhecidos como granitos. Os mármore encontram-se dispostos em reservas tanto de origem sedimentar, quanto metamórficas, sendo estas últimas localizadas em rochas do embasamento Pré-cambriano. Vale ressaltar que a grande incidência de eventos tectônicos atuantes em nosso território, notadamente durante o Proterozoico, favoreceu a formação de depósitos com rochas ornamentais de excepcional beleza, constituídas por tipos considerados exóticos, de reconhecida aceitação no mercado internacional de materiais pétreos.

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 cinco eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano,

Paleoproterozoico, Mesoproterozoico, Neoproterozoico e Mesozoico. Tais eventos propiciaram a consolidação do continente, por meio da colagem de núcleos arqueanos de grande extensão com fragmentos menores, envolvidos por faixas dobradas proterozoicas, e pela formação de bacias sedimentares cretácicas, em sua borda leste, portadoras de mármore de boa qualidade.

**Tabela 1** - Exemplos de Jazimentos de rochas ornamentais no Brasil.

<b>Classificação petrográfica</b>	<b>Província geológica</b>	<b>Idade da rocha</b>	<b>Nome comercial</b>	<b>Estado e município</b>
Álcali feldspato Riolito	Amazonas	Paleoproterozoico	Pau-Brasil	Vila do Canoas-AM
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Branco Ceará	Santa Quitéria-CE
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Branco Cristal Quartzo	Forquilha-CE
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Casablanca	Pedra Branca-CE
Migmatito metatexitico	Mantiqueira	Paleoproterozoico	Preto Indiano	Cach. Itapemirim-ES
Leucogranito Gnaissificado	São Francisco	Paleoproterozoico	Branco Kashmir	Jequié-BA
Leucogranito	São Francisco	Paleoproterozoico	Cacatua Bahia	Anguera-BA
Sienito	São Francisco	Paleoproterozoico	Café Bahia	Riacho Santana-BA
BIF - Itabirito	São Francisco	Paleoproterozoico	Iron Red	Itabirito-MG
Ortognaisse Migmatizado	São Francisco	Paleoproterozoico	Kinawa Bahia	Rui Barbosa-BA
Ortognaisse	São Francisco	Paleoproterozoico	Macajuba	Rui Barbosa-BA
Charnockito	São Francisco	Paleoproterozoico	Verde Candeias	Candeias-MG
Charnockito	Amazonas	Mesoproterozoico	Blue Star	Machadinho d'Oeste-RO
Monzogranito	Amazonas	Mesoproterozoico	Café da Amazônia	Paraíso-MT
Ortognaisse Migmatizado	Borborema	Mesoproterozoico	Rosa Imperial	Garanhuns-PE
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Amarelo Sta Cecília	Ecoporanga-ES
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Amarelo Veneziano	Nova Venécia-ES
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Arabesco	Águia Branca-ES
Mármore	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Pinta Verde	Cach. de Itapemirim- ES
Dumortierita- Quartzito	São Francisco	Mesoproterozoico	Azul Imperial	Macaúbas-BA
Monzogranito	Amazonas	Neoproterozoico	Forest Green	Rio Crespo-RO
Dacito	Borborema	Neoproterozoico	Azul Sucuru	Serra Branca-PB
Pegmatito	Borborema	Neoproterozoico	Branco Fuji	Parelhas-RN
Sienito	Borborema	Neoproterozoico	Marrom Imperial	Bom Jardim-PE
Gabro-norito	Borborema	Neoproterozoico	Preto San Marcos	Casserengue-PB

Biotita Granito	Borborema	Neoproterozoico	Verde Ceará	Meruoca-CE
Granito Grosseiro	Borborema	Neoproterozoico	Verde Meruoca	Alcântaras-CE
Biotita Granito Vermelho	Borborema	Neoproterozoico	Vermelho Filomena	Alcântaras-CE
Granada Sienogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Amarelo Ornamental	Barra de São Francisco-ES
Leucosienogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Branco Dallas	Barra de São Francisco-ES
Leucogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Branco Marfim	Barra de São Francisco-ES
Granito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Cinza Andorinha	Castelo-ES
Biotita Granito Porfírico	Mantiqueira	Neoproterozoico	Cinza Corumbá	Castelo-ES
Norito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Preto São Gabriel	São Gabriel da Palha-ES
Charnokito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Verde Labrador	Baixo Guandu-ES
Monzogranito Porfírico	Mantiqueira	Neoproterozoico	Vermelho Bragança	Bragança Paulista-SP
Biotita Monzogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Vermelho Capão Bonito	Capão Bonito-SP
Nefelina-Sodalita-Sienito	São Francisco	Neoproterozoico	Azul Bahia	Itaju de Colônia-BA
Metaconglom. Polimítico	São Francisco	Neoproterozoico	Marinace	Ibotirama-BA
Arenito	São Francisco	Neoproterozoico	Rosa Bahia	Palmeiras-BA
Calcário Sedim.r Biocrítico	Borborema	Cretaceo Inferior	Bege San Marino	Limoeiro do Norte-CE.
Calcário Brechado	São Francisco	Quaternário	Bege Bahia	Ourolândia-BA.

Elaboração dos autores, Atualização de Hieres Vettorazzi e Nuria Castro (CETEM/MCTI, 2013).

No que concerne à geotectônica, o território brasileiro está dividido em 8 (oito) Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais (Tabela 1). Os estados situados na Província Mantiqueira (Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) respondem por 58% da produção nacional, seguidos dos pertencentes à 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 da produção brasileira. As Províncias do Paraná e Paraíba também apresentam uma diversidade geológica favorável à ocorrência de rochas ornamentais, apesar de não apresentarem grandes produções desse bem mineral.

O Arqueano acha-se representado por terrenos antigos, constituintes da infraestrutura de dois extensos núcleos cratônicos, denominados de Amazônico e São Francisco, além de uma série de fragmentos menores de composição gnáissico-migmatítico e migmatítico-granitoide, metamorfisa-

dos na fácies anfíbolito alto a granulito, onde dominam ortognaisses bandados de composição tonalito-trondhjemitó-granodiorítica com alternância de bandas máficas e félsicas (BIZZI *et al.*, 2001). Esta associação litológica encerra um ambiente propício à ocorrência de rochas ornamentais de alta cotação internacional, notadamente em leucogranitos (granitos brancos), em áreas onde afloram rochas de composição trondhjemitica e rochas verdes movimentadas (terrenos charnoquíticos).

Ainda no Arqueano, inclusos nos terrenos gnáissicos-migmatíticos, despontam terrenos tipo “Greenstone Belts”, caracterizados por conter sedimentos imaturos e vulcanismo máfico e félsico, metamorforizados na fácies xisto verde, sendo intrudidos por um cortejo de granitoides sódicos, tonalíticos e granodioríticos. No que tange a granitos ornamentais, o baixo grau de recristalização metamórfica desta sequência confere a tais rochas poucas propriedades para este uso. Como exceção, têm-se os corpos de composição tonalito-granodiorítica, resultantes dos processos de fusão parcial das sequências vulcano-sedimentares de baixo grau, cujo aspecto textural lhes pressupõe um bom aproveitamento para fins ornamentais. Associadas aos terrenos arqueanos, mais precisamente em zonas rifteadas da crosta continental, têm-se sequências metassedimentares paleoproterozoicas, contendo vulcanismo e sedimentos pelítico-psamíticos, metamorforizados 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.

O Paleoproterozoico está representado por faixas móveis, envolvendo os núcleos e fragmentos cratônicos primitivos. São resultantes da agregação de continentes preexistentes, 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 nesses cinturões, notadamente nas zonas sujeitas a subducção, teve início a reagregação das massas continentais, produzindo deformações nas rochas (DELGADO; PEDREIRA, 1994). 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 gnaiesses, 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-americano. Como exemplo de tais jazimentos destaca-se o Verde Boa Nova e o Dourato, ambos na Bahia, as ocorrências de rochas esverdeadas tipo Verde Candeias e Verde Lavras aflorantes no sul de Minas Gerais, os brancos Kashmir e Cacatua Bahia, expostos no estado homônimo e os tipos Casa Blanca e Branco São Paulo, oriundos do Estado 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 dessa 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; além dos granitos movimentados de cor-de-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. 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 essa fase de cratonização à qual foi submetida à 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 Paleoproterozoico foi responsável pela formação de rochas com elevado interesse comercial, exemplificados pelos sienitos aflorantes em Riacho Santana e conhecidos pelo nome de Granito Café Bahia.

Ainda relacionados a essa 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). Também pertencente a esse período, registra-se a ocorrência do granito Preto Solimões catalogado na Província Amazonas Sul, mas precisamente nos plutonitos da Suíte Intrusiva Jamari.

Após a cratonização das faixas móveis paleoproterozoicas iniciou-se, no Mesoproterozoico, 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 Neoproterozoicos e nas faixas de Dobramentos Brasileiras. 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 metassedimentos finos a grossos com intercalações de vulcânicas máficas e riolitos, contendo variações granulométricas que vão desde o filito ao metaconglomerado. Em termos de aproveitamento ornamental destaca-se neste contexto o metarenito Rosa Bahia da Região de Lençóis; os riolitos, com quartzo azulado de Paramirim, denominados de Azul Paramirim, além dos internacionalmente conhecidos dumortierita-quartzitos, comercializados com a denominação de Azul Macaúba ou Azul Imperial. Associados a este período, ocorrem os granitos Amazon Star, Marrom Castor, Amazon Flower e Blue Star, pertencentes à suíte intrusiva Serra da Providência no Estado de Rondônia.

Relacionados ao Neoproterozoico, 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 essa fase, ocorre à 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 Neoproterozoico, na estabilização da infraestrutura do embasamento cristalino brasileiro, resultou na deposição de sedimentos de ambiência marinha marginal em zonas pericratônicas, originando faixas de dobramentos marginais constituídos por sequências metassedimentares com denominações litoestratigráficas diversas. Como exemplos de rochas ornamentais, resultante deste contexto geológico, citam-se o mármore rosado designado comercialmente de Rosa Patamuté e Flor de Pêssego, aflorantes respectivamente em Itapebi e Patamuté, todas no Estado da Bahia, além dos mármore brancos do Espírito Santo e dos calcários pretos catalogados em Frecheiras no Ceará, Irecê na Bahia e em áreas de Goiás.



Durante o Neoproterozoico, 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 nesse período ocorrem os “cumulatus” de mela-sienito aflorantes em Bom Jardim, no Estado de Pernambuco, e conhecidos internacionalmente como Granito Marrom Imperial. Datadas do final do Neoproterozoico, 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 o Preto Tijuca, aflorante na Província Mantiqueira. Dessa época datam as intrusões charnokíticas que resultaram na formação do Granito Verde Ubatuba em São Paulo, e de tipos similares detectados em outros pontos do território nacional, mais particularmente, em exposições intrudidas em terrenos antigos da Província Borborema, em áreas do Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará.

Datados do final do Neoproterozoico, mais 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 pegmatoides e de pegmatitos homogêneos. Estes litotipos estão sendo atualmente explotados para fins ornamentais, constituindo rochas de elevada cotação internacional, devido principalmente a grande dimensão dos seus constituintes minerais, aliado ao seu aspecto heterogêneo e multicolorido de que lhes confere características peculiares interessantes. Como exemplos podem ser citados o Rosa Florença e o Rosa Algodão, extraídos na Paraíba, além do Branco Fuji, lavrado em pedreiras localizadas no Rio Grande do Norte (Província Borborema).

Associados a essa fase da evolução da nossa plataforma, mais precisamente em zonas de rifteamento em um ambiente de intraplacas tectônicas com magmas sub-saturados em sílica, se têm corpos de sodalita-nefelina sienitos conhecidos internacionalmente como “Azul Bahia” e catalogados em Itaju de Colônia e Itarantim na Bahia. Datados dessa fase, afloram os diques de riocitos porfíricos azulados, conhecidos como “Azul Sucuru”, oriundos de Serra Branca e Sumé, ambas no Estado da Paraíba.

Durante o Fanerozoico, o território brasileiro foi submetido a um regime de extensão crustal, que deu origem a amplas bacias sedimentares intracratônicas. No Juro-Cretáceo, seguiu-se a formação de estreitas bacias tipo rifte com gênese ligada aos esforços tensionais que culminaram com a separação das massas continentais africana e sul-americana e, conseqüentemente, com a abertura do Atlântico-Sul. Essas bacias acumularam espessa sequência 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 mármorees Crema Porto Fino e Bege San Marino (MENDES, 2002).

Posteriormente, depósitos continentais de idade Paleógeno, Neógeno e Quaternário formaram extensos tabuleiros, além de acumulações aluvionares e eólicas restritas aos vales atuais. Como representante desse período ocorrem os calcários travertinos da Formação Caatinga, originados a partir do retrabalhamento fluvial dos carbonatos existentes na Chapada Diamantina. Esses mármorees são conhecidos nacionalmente como Bege Bahia ou Mármore Travertino e constituem uma das mais importantes e tradicionais frentes de exploração de mármore do país.

## 2. Pesquisa regional

O setor de rochas ornamentais compreende uma série de segmentos, tais como: pesquisa geológica, caracterização tecnológica, operações de lavra, transporte, beneficiamento e comercialização, cujo conhecimento integrado possibilita a realização de bons negócios para a região ou país que assim procede.

Neste tópico é abordada a pesquisa geológica regional para rochas com fins ornamentais. Esta atividade no âmbito institucional tem por finalidade auxiliar as pesquisas geológicas em nível de detalhe e conseqüentemente, a geração de novas pedreiras. Por conseguinte, os programas exploratórios regionais constituem uma importante ferramenta para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais em determinada região.

A finalidade de uma prospecção deste âmbito é gerar informações de cunho geológico que possibilitem a elaboração de políticas públicas para o setor, assim como o investimento de recursos privados na pesquisa e exploração de novas pedreiras. Os objetivos primordiais desta atividade estão concentrados na avaliação do potencial geológico regional em termos de rochas ornamentais e na elaboração da carta geológica previsional ou de potencialidades dessas rochas. Tal documento deverá conter informações sobre direitos minerários, situação das condições de infraestrutura, tipos possíveis de rochas a serem detectadas em determinada área, seguida da definição dos principais centros produtores naquela região.

Como resultado desta atividade prospectiva, três aspectos do problema deverão ser observados e trabalhados de forma sistemática visando propiciar o desenvolvimento e consolidação de um programa exploratório com o intuito de atrair capitais públicos e privados de forma a consolidar um futuro polo produtor:

1. Divulgação apropriada das informações, em catálogos e mapas de atratividade, nos setores interessados, de forma a obter uma avaliação comercial dos tipos detectados, além de atrair investimentos na pesquisa e lavra de novos materiais.
2. Realização de diagnósticos setoriais sobre a questão da pesquisa, condições de lavra, infraestrutura, transporte, beneficiamento e comercialização.
3. Execução de um documento temático sobre cada região estudada contendo a descrição geológica dos tipos prospectados, fotos das placas polidas, resultados de avaliações petrográficas e dos ensaios de caracterização tecnológica, com parecer sobre cada material pesquisado. Incluindo, ainda, a sua aplicabilidade, reservas geológicas, perspectivas de mercado, possibilidades de exploração, além de fotos dos litotipos e dos locais previamente selecionados para implantação de possíveis frentes de exploração.

### 2.1. Sistemática para pesquisa de âmbito regional

Sabe-se que fatores de cunho geológico interferem diretamente na existência de faixas potenciais, na forma e distribuição das rochas para fins ornamentais e na vocação dos terrenos para a presença de materiais nobres ou comuns. Em termos exploratórios regionais é de suma importância a definição do arcabouço tectônico estrutural e dos ambientes geológicos existentes, uma vez que permite a elaboração de mapas previsionais e de ocorrências para os diversos tipos de rochas.

Pode-se concluir que a análise e interpretação de bons mapas geológicos regionais, atrelados aos trabalhos de interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélites e dos dados aerogeofísicos disponíveis, permitem definir os fatores geológicos intervenientes na formação dos jazimentos de rochas ornamentais e as zonas prospectáveis em nível regional para materiais nobres ou comuns.

Convém frisar que fatores tais como: cor, tonalidade, textura, formação estrutural, o aspecto estético da rocha, assim como o aparecimento de feições indesejáveis nas operações de lavra são controlados pela geologia e devem ser avaliados em um estudo geológico de cunho regional, sendo em seguida colocados em bases técnicas adequadas visando atribuir índices de favorabilidade a determinada área.

Para a perfeita compreensão do potencial geológico de determinada região, em rochas ornamentais, faz-se necessário obter os controles geológico, estrutural, litológico e estratigráfico das ocorrências detectadas e consequentemente dos prováveis tipos litológicos prospectáveis.

## **2.2. Conceito do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG)**

Levando em consideração os fatores acima mencionados e com a finalidade de avaliar a qualidade e dar uma ideia de valor de mercado das rochas ornamentais em uma pesquisa geológica regional, Barbosa e Paiva (1998) criaram o conceito de índice de Atratividade Econômico-Geológica. Este consiste na hierarquização dos tipos graníticos selecionados em mapas de potencialidade de rochas para fins ornamentais, mediante as notas atribuídas a um conjunto de fatores intervenientes na avaliação destes jazimentos. Este índice baseia-se na soma dos pesos considerados para cada um dos seguintes fatores: cor da rocha (FC), textura (FT), homogeneidade (FH), dureza (FD), nobreza (FN), infraestrutura (FI), estrutura (FE) e modo de ocorrência (FM). Desta forma quanto maior o IAEG, mais atraente será a rocha para o mercado. Na tabela 2, encontram-se especificadas as pontuações atribuídas a cada fator considerado, visando à avaliação mercadológica da rocha.

Salienta-se que, além da adoção deste índice, cuja pontuação das rochas catalogadas deve acompanhar a nota explicativa contida na margem esquerda do mapa previsional de atratividade econômico-geológica, faz-se necessário também a elaboração de uma legenda elucidativa, que contemple a descrição da unidade geológica e o tipo de rocha ornamental cadastrada a qual está associada. Tal sistemática deve-se a necessidade de tornar o mapa prospectivo autoexplicativo de fácil compreensão e manuseio pelo setor empresarial.

## **2.3. Controles litoestratigráfico e estrutural dos jazimentos**

Em uma prospecção geológica regional, torna-se imprescindível definir as relações entre as unidades geológicas mapeáveis, seu contexto tectono-estrutural e as ocorrências de rochas ornamentais passíveis de serem detectadas. Como resultado desta assertiva, podem ser estabelecidos os controles geológicos e estruturais dos jazimentos e a continuidade dos mesmos, facilitando a descoberta e pesquisa de tipos similares aos catalogados.

Inicialmente tem que se definir o arcabouço tectônico da região estudada, seu contexto geológico e estratigráfico regional, seguido do conhecimento textural, petrográfico, mineralógico, estrutural das unidades mapeadas e do posicionamento cronológico das mesmas. Posteriormente, estes parâmetros devem ser interpretados e correlacionados com as ocorrências já conhecidas,

com o objetivo de obter o condicionamento geológico que as originou. Para exemplificar melhor o conceito escolheu-se o denominado granito “Rosa Imperial”, cujo arcabouço geológico é formado por migmatitos ortoderivados de textura homogênea, com neossoma de cor-de-rosa suave, estando o mesossoma relacionado com rochas de composição quarto-diorítica. Com base nestes dados pode-se programar a prospecção destas rochas ditas movimentadas, tendo como área alvo os migmatitos de neossoma róseo-avermelhado, ricos em feldspato potássico, aflorantes nas áreas de terrenos antigos do Pré-Cambriano brasileiro.

**Tabela 2** - Índices de Atratividade Econômico-Geológica. Modificado de Paiva e Barbosa, 2000.

<b>Índices de atratividade econômico-geológica (IAEG)</b>	
<b>Fator Cor – FC (cores credominantes)</b>	<b>Valores do FC</b>
Azul	17
Branca a Amarela	14
Verde ou Marrom	14
Rochas Movimentadas de Cores Vermelhas e Rosa	10
Salmão	7
Vermelha	6
Rosa	6
<b>Fator Textura-FT (texturas predominantes)</b>	<b>Valores do FT</b>
Equigranular e Porfírica	0 a 10
Porfírica Serial a Equigranular e Lamelar	0 a 10
<b>Fator Homogeneidade – FH (veios, xenólitos e marcas de oxidação)</b>	<b>Valores do FH</b>
Alta	0 a 10
Média	0 a 10
Baixa	0 a 10
<b>Fator Fraturamento – FF (densidade do fraturamento)</b>	<b>Valores do FF</b>
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
<b>Fator Modo de Ocorrência – FM (modo de ocorrência)</b>	<b>Valores do FM</b>
Maciço + Matacões	10
Maciço	6 a 8
Matacões Grandes	5
Matacões Menores	4
<b>Fator Estrutura – FE (estruturas predominantes)</b>	<b>Valores de FE</b>
Dobradas ou Movimentadas	10
Orientada ou Foliada	5
Maciça	0

<b>Fator de Nobreza – FN (posicionamento da rocha no mercado)</b>	<b>Valores do FN</b>
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
<b>Fator Dureza – FD (dureza relativa)</b>	<b>Valores do FD</b>
Mármore (dureza baixa)	7
Sienitoide (dureza média)	6
Granitoide (dureza alta)	5
Quartzito (dureza muito alta)	2
<b>Fator Infraestrutura – FI (infraestrutura disponível)</b>	<b>Valores do FI</b>
Distância menor que 10km e dispondo de toda infraestrutura	8
Distância igual ou maior do que 10km	6
Distância maior do que 20km	5
<b>IAEG= FC+FT+FH+FM+FR+FN+FD+FI</b>	

As rochas representadas em mapas são avaliadas qualitativamente e quantitativamente segundo os seguintes intervalos do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG): muito alto entre 80 e 100, alto entre 70 e 80, médio entre 60 e 70, e baixo entre 40 e 60.

As rochas representadas em mapas são avaliadas qualitativamente e quantitativamente segundo os seguintes intervalos do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG): muito alto entre 80 e 100, alto entre 70 e 80, médio entre 60 e 70, e baixo entre 40 e 60.

Esta conceituação aplica-se a todos os tipos de controle geológico-estratigráfico relativo a outros litotipos semelhantes tais como: Frevo, Kinawa, Juraparaná e Relíquia.

Outro exemplo de controle litológico são os melasienitos aflorantes em Bom Jardim e Toritama, ambas situadas no Agreste setentrional do estado de Pernambuco. Estes litotipos acham-se encaixados por quartzo-sienitos ricos em potássio, constituindo rochas shoshoníticas peralcalinas, cor lilás a amarronzada. O litotipo denominado “Marrom Imperial” compreende cumulus ricos em k-feldspatos de textura porfirítica e coloração marrom escura, aflorantes sobre a forma de lentes encaixadas nos quartzo-sienitos de amplitude regional.

O contexto tectônico atuante em uma determinada região, também constitui uma tipologia de controle na formação de jazimentos de rochas para fins ornamentais. Como exemplos têm-se o “Granito Via Láctea”, aflorante no Agreste de Pernambuco, cuja tonalidade azulada resultou do aumento de temperatura provocada pela ação de falhamento transcorrente atuante naquela região. Ainda associados ao controle tectônico das falhas transcorrentes têm-se os granitos Sunset Red e Red Brown. O primeiro tipo compreende uma rocha de coloração vermelha milonitizada, com textura porfirítica, rica em feldspato potássico, constituindo um álcali-feldspato granito pertencente à Suíte Itaporanga, resultante da ação de falhas transcorrentes que imprimiram estruturação e feições típicas de zonas miloníticas, gerando um excelente efeito estético e decorativo. O mesmo ocorre com o segundo tipo originado da atuação de falhas transcorrentes sobre os plutonitos da

Suíte Peralcalina Vila Moderna. Com base no exposto, verifica-se que o melhor local para encontrar litotipos semelhantes aos referenciados constituem as falhas transcorrentes atuando por sobre rochas plutônicas, especialmente nas zonas de transtração.

Outros exemplos de controle tectônico-estratigráfico são as rochas associadas à fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro, exemplificadas nos diques de riocititos azulados e nos granitos grosseiros de textura pegmatóide, ambos aflorantes nos terrenos proterozoicos da Província Borborema. Tipos semelhantes podem ser encontrados em eventos relacionados ao mesmo período geológico, em terrenos aflorantes nos Estados da Bahia e Ceará.

## 2.4. Fatores geológicos a serem considerados numa pesquisa geológica regional

Os elementos geológicos identificados durante os trabalhos de fotointerpretação e compilação bibliográfica, junto com os elementos observados *in situ* nos estudos de afloramentos, tais como: frequência, densidade e espaçamento do fraturamento existente, presença de enclaves e veios quartzo-feldspáticos, constância litológica e deformação dúctil, aliados aos caracteres mineralógicos e petrográficos das rochas, podem ser extrapolados para todo corpo rochoso. Faz-se necessário observar durante os trabalhos de campo se os caracteres geológicos identificados, nos diversos afloramentos estudados de uma determinada unidade geológica, possuem uniformidade e continuidade, parâmetros necessários para a implantação de uma pedreira de rocha ornamental.

A pesquisa regional tem por finalidade fornecer elementos para uma melhor compreensão sobre o posicionamento geológico das ocorrências a serem detectadas e os fatores intervenientes na sua geração, como a cor, textura, padrão estrutural, homogeneidade, existência de variações faciológicas e enclaves, fatores estes que influem diretamente no aspecto estético da rocha. Salienta-se que o controle destes fatores constitui o norte científico para orientar a pesquisa de rochas ornamentais, em uma determinada região, propiciando a descoberta de novos depósitos.

A contínua evolução do setor e a aceitação de novos tipos de rochas, tais como milonitos e xistos, levou os prospectores ao estudo das faixas dobradas e zonas de cisalhamento. Nestas últimas, é importante caracterizar e separar nos mapas geológicos ou de potencialidades as zonas de transpressão e de transtração, as quais por terem sofrido uma menor ação dos esforços cisalhantes e rúpteis, apresentam uma melhor condição para a futura exploração de blocos brutos e canteirados.

A exploração de rochas gnáissicas, xistosas e de quartzitos de alto grau metamórfico levou a necessidade da realização do estudo dos pontos de fraqueza destas rochas, tais como: planos de foliação e clivagens de fratura, os quais juntamente com os fatores de cunho petrográfico, incluindo a existência de minerais deletérios, permitem compreender o comportamento físico-mecânico da rocha e a melhor sistemática de extração a ser adotada.

É importante frisar a necessidade de avaliação da intensidade do metamorfismo atuante, associada ao quimismo das rochas mapeadas, pois tal apreciação pode ser indicativa da existência de uma série de litotipos prospectáveis, tais como: as rochas vermelhas associadas aos plutonitos de composição cálcio-alcálica de alto potássio; os tipos cinza-esbranquiçados relacionados aos granitoides a duas micas de caráter peraluminoso, resultante da fusão parcial de supracrustais, posteriormente intrudidos em níveis crustais mais superiores.

O estudo do grau metamórfico também nos permite avaliar, caso seja de alto grau, a presença de rochas dobradas e foliadas de caráter gnáissico migmatítico que constituem os tipos movimentados. Se o metamorfismo atingir o fácies granulito podem ser encontrados materiais esverdeados bastante deformados de composição charnokítica.

## 2.5. Caracterização tecnológica das rochas ornamentais

Com a finalidade de obter a definição dos caracteres composicionais e físico-mecânicos da rocha catalogada, em um programa regional de pesquisa, faz-se necessário a elaboração de análises petrográficas e dos ensaios de caracterização tecnológica, cujos resultados propiciam o conhecimento dos caracteres petrográficos das rochas e a previsão do seu desempenho, quando aplicadas. A importância do conhecimento desses caracteres constituem parâmetros fundamentais para a sua utilização em serviço, influenciando diretamente na segurança e padrão de qualidade da obra.

Em síntese, os resultados dessas análises, além de fornecerem a classificação petrográfica e composição mineralógica do material, contêm informações que permitem definir a melhor sistemática de aplicação a ser adotada. Permite, também, definir o ambiente de aplicação que melhor se adapta aos caracteres físico-mecânicos encontrados na rocha, de forma a evitar o aparecimento de futuras patologias e, conseqüentemente, comprometer o bom desempenho do material pétreo. Salienta-se que os resultados desses ensaios e análises deverão acompanhar sempre o catálogo e o relatório integrado de um programa prospectivo a nível regional.

Dentre os estudos de laboratório a serem realizados destacam-se: as análises petrográficas e as determinações dos índices físicos da rocha, de desgaste Amsler, da dilatação térmica linear, da resistência à flexão, resistência à compressão, ensaios de gelo e degelo, além da resistência ao impacto e dos ensaios de alterabilidade e ataque químico. Tais ensaios permitem conhecer os caracteres físico-mecânicos das rochas ornamentais, os quais constituem elementos importantes para a escolha do método e dimensionamento das futuras operações de lavra e do emprego do material pétreo como revestimento de edificações.

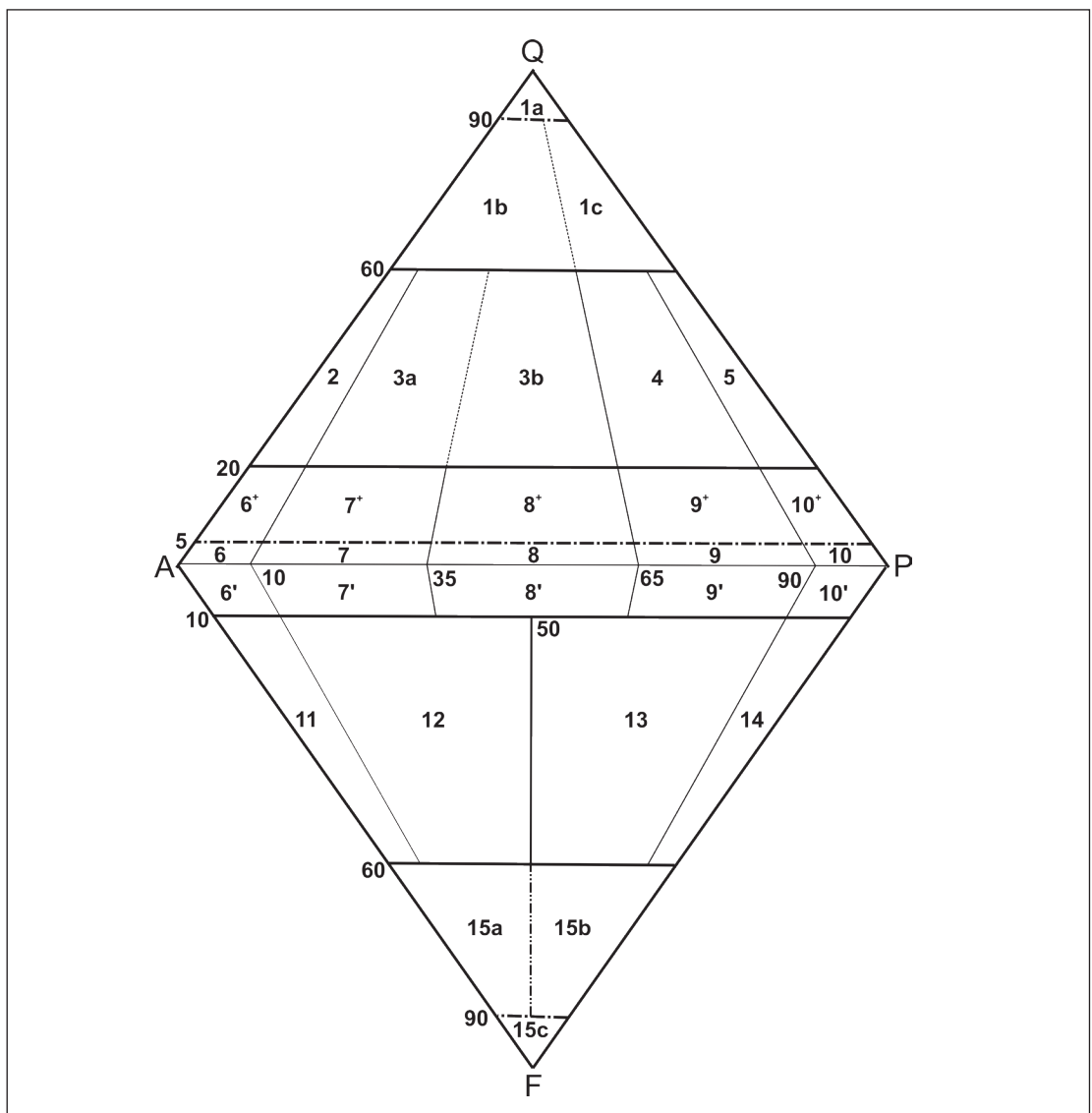
Dentre os ensaios de caracterização tecnológica, a análise petrográfica constitui o primeiro a ser efetuado e permite obter-se a composição mineralógica da rocha, a classificação, textura, hábito, formato e dimensões dos minerais constituintes, seu estado de alteração, existência de microfissuras, além da presença de minerais deletérios. Propiciam também a identificação da natureza ou tipo da rocha, sua gênese e os prováveis eventos tectono-termiais atuantes. A análise em lâmina delgada permite quantificar o percentual de minerais friáveis, alterados ou alteráveis, que possam comprometer o brilho, a durabilidade ou o desempenho da rocha.

Com base nos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica pode-se afirmar que melhor será a rocha para fins ornamentais a que apresentar baixo percentual de minerais deletérios e menor for os seus índices de absorção, porosidade, desgaste Amsler (resistência ao atrito) e do seu coeficiente de dilatação térmica linear. Ao contrário, melhor será o litotipo que mostrar maiores valores de resistência a compressão, a flexão e ao impacto.

Com a finalidade de facilitar a classificação petrográfica das rochas ornamentais, no caso específico para rochas ígneas, notadamente as plutônicas, pode-se utilizar o diagrama de Streckeisen (1976). Este diagrama foi apresentado pela subcomissão da International Union of Geological Sciences (IUGS), tendo se tornado o método de classificação de rochas mais utilizado no mundo, sobretudo para rochas félsicas. Um dos principais parâmetros de classificação utilizados é a abundância volumétrica (modal), relativo aos minerais félsicos, isto é, quartzo(Q), feldspato potássico (A), plagioclásio (P) e feldspatoides (F).

Na figura 1, tem-se o citado diagrama e os campos de plotagem dos resultados da análise modal. De acordo com ele, as rochas félsicas situam-se entre os campos 1 a 8, enquanto as rochas dioríticas e gabroides se enquadram no intervalo entre os campos 9, 10, 10' e 9', sendo subclassificados de acordo com a composição do plagioclásio incluídos no caso das rochas ricas em feldspatoides

situada nos campos 6', 7' 8', 9' 10', 11, 12, 13, 14 e 15. Para a classificação final utiliza-se também o nome do feldspatoide presente, tais como nefelina sienito, nefelina monzogabro. No caso das rochas félsicas com hiperstênio (rochas charnokíticas) são normalmente rochas metamórficas de origem ígnea. Na tabela 3 têm-se a classificação de rochas e o campo em que elas situam-se no diagrama. Normalmente as rochas com alta proporção de QAP são originadas de alta temperatura, enquanto as com teor elevado em F implica magmas subsaturados em sílica, passíveis de gerar jazimentos de granitos tipo Azul Bahia. Com base no exposto conclui-se que este diagrama constitui uma ferramenta importante para a classificação das rochas ígneas, sobretudo para as plutônicas félsicas, sendo indicada sua utilização numa pesquisa de âmbito regional para rochas com fins ornamentais.



**Figura 1** - Diagrama de Streckeisen, 1976.



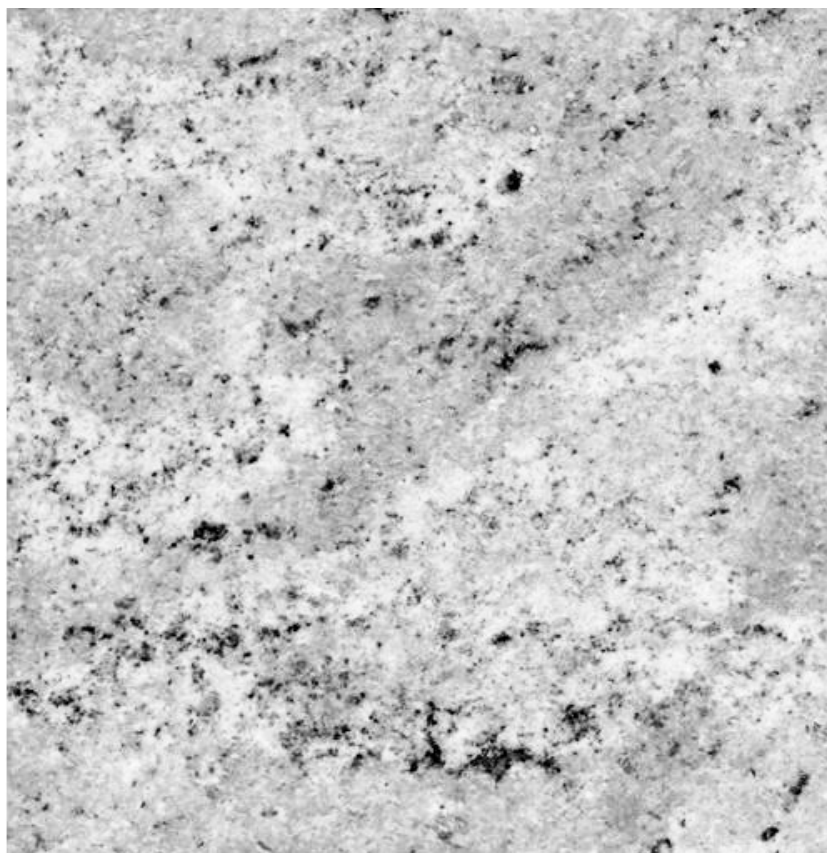
**Tabela 3** - Classificação das rochas e o Campo de Situação no Diagrama de Streckeisen, 1976.

	<b>Granulometria Grossa</b>	<b>Granulometria Fina</b>	<b>Rochas com Hiperstênio</b>
1a	Quartzolito		
1b	Quartzo granito		
1c	Quartzo granodiorito		
2	Álcali granito	álcali riolito	álcali charnockito
3a	Granito (sienogranito)	Riolito	charnockito
3b	Granito (monzogranito)	Riodacito	charnockito
4	Granodiorito	Dacito	opdalito
5	M > 10, tonalito M < 10, trondhjemitó	quartzo andesito	enderbitó
6*	Quartzo álcali sienito	quartzo álcali traquito	hiperstênio álcali sienito
7*	Quartzo sienito	quartzo traquito	hiperstênio sienito
8*	Quartzo monzonito	quartzo latito	hiperstênio monzonito
9*	An < 50, quartzo monzodiorito An > 50, quartzo monzogabro	Andesito	jotunito
10*	An < 50, quartzo diorito An > 50, quartzo gabro	Basalto	hiperstênio diorito
6	Álcali sienito com quartzo	álcali traquito com quartzo	
7	Sienito com quartzo	traquito com quartzo	
8	Monzonito com quartzo	latito com quartzo	
9	An < 50, monzodiorito com quartzo An > 50, monzogabro com quartzo	andesito com quartzo	
10	An < 50, diorito An > 50, gabro	andesito, basalto	
6'	Álcali sienito com foides	álcali traquito com foides	
7'	Sienito com foides	traquito com foides	
8'	Monzonito com foides	latito com foides	
9'	An < 50, monzodiorito com foides An > 50, monzogabro com foides	andesito traquítico com foides	
10'	An < 50, diorito com foides An > 50, quartzo gabro com foides	basalto traquítico com foides	
11	Foide sienito	Fonolito	
12	Foide monzosienito	fonolito tefrítico	
13	An < 50, foide monzodiorito An > 50, foide monzogabro	basalto, foide basalto	

14	An<50, foide diorito An>50, foide gabro	Basanito	
15a	Foidito foiaítico	foidito fonolítico	
15b	Foidito teralítico	foidito tefrítico	
15c	Foidito	foidito extrusivo	

## 2.6. Ambiência geológica e controle dos jazimentos

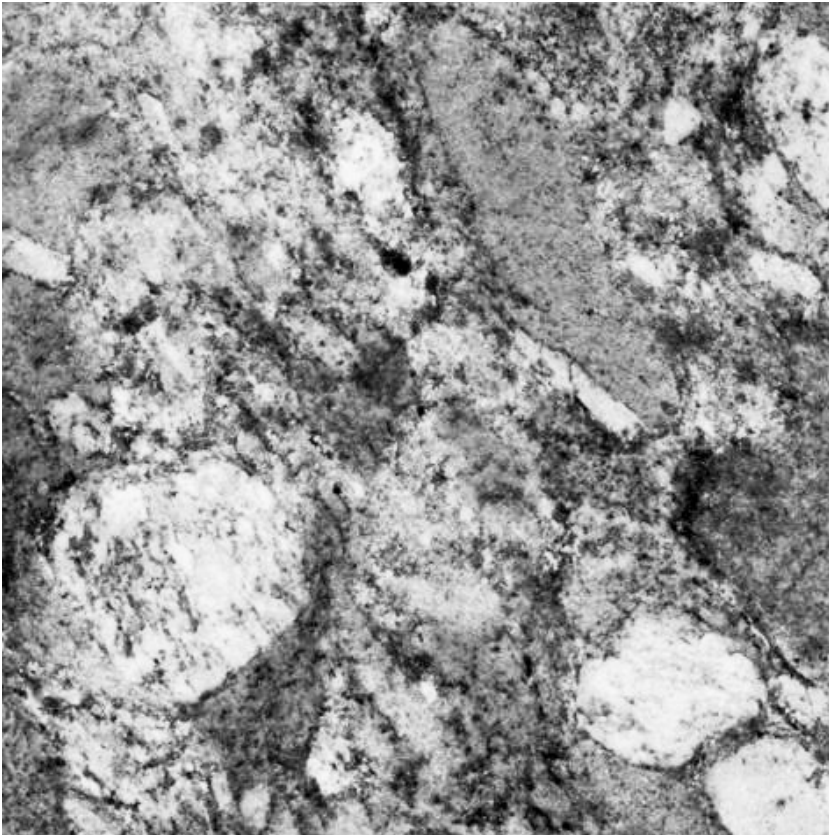
Em âmbito regional a variação de unidades litológicas e litoestratigráficas nos permitem interpretar, antever e fixar, em bases previsionais, os diferentes tipos de rochas possíveis de serem detectados. Dentre os “granitos” ditos nobres, a cor azul está associada à presença de magmas subsaturados em sílica, onde a ausência de sílica livre leva a formação de feldspatoides contendo nefelina e sodalita, notadamente intrudidos em ambientes de rifteamento intraplacas, relacionados à fase pós-tectônica dos eventos compressivos. Ocorre também em quartzitos à dumortierita, associados à metapsamitos com alto teor em boro e em rochas vulcânicas a sub-vulcânicas contendo quartzo azulado típico de cristalização, em altas temperaturas. Também associados às fases pós-tectônica dos eventos orogênicos atuantes em âmbito regional.



**Figura 2** - Granito Tipo Rosa Imperial - exibindo foliação e aspecto movimentado.

No caso dos granitos conhecidos como movimentados, tipos Samba, Kinawa e Relíquia ocorrem em terrenos gnáissicos-migmatíticos de alto grau metamórfico, relacionados à migmatitos homogêneos (diatexitos), bastante deformados e dobrados, gerados em ambiente de alta temperatura e plasticidade, associados às condições de metamorfismo alto na fácies anfibolito. São passíveis de serem prospectados nas faixas antigas do embasamento, principalmente em ambientes Arqueano-Paleoproterozoicos e Mesoproterozoicos. O aspecto multicolorido, foliado e dobrado desses migmatitos, resulta da existência de neossomas bastante deformados e ricos em feldspato potássico, responsáveis pela coloração rosa-avermelhada dos litotipos (Fig. 2). Em função do menor ou maior teor em feldspato calcossódico, no neossoma da rocha, é possível se encontrar tipos nas cores cinza-esbranquiçado a bege, incluindo certos tons de cor-de-rosa suave em função do aumento do teor em feldspato potássico.

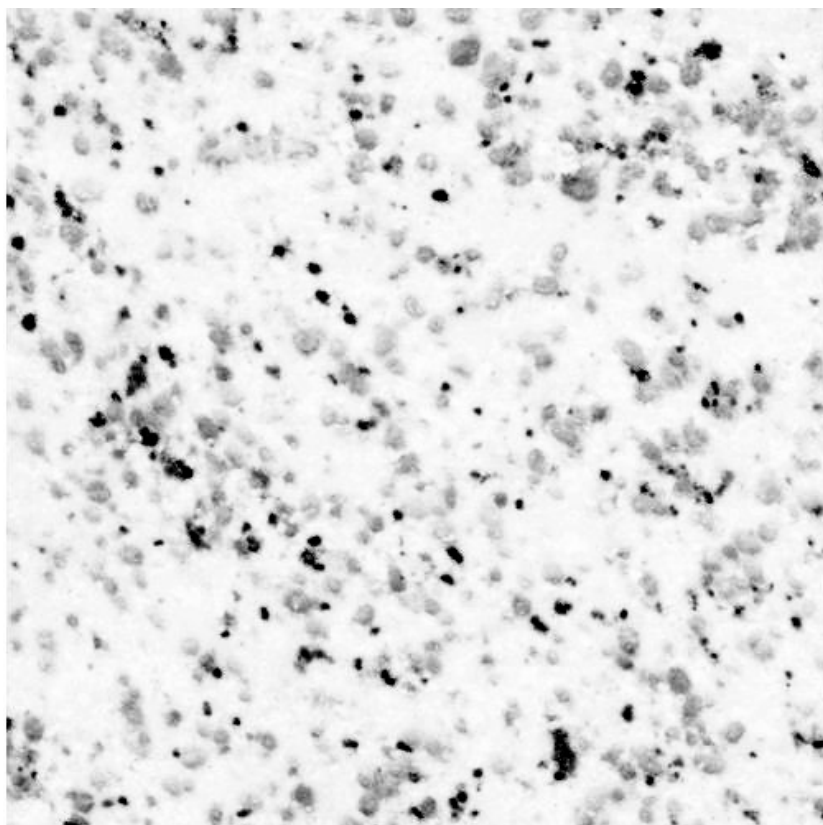
Os granitos verdes, quando homogêneos e de textura grosseira, relacionam-se a magmas charnoquíticos, que constituem rochas metamórficas geradas em ambientes de alto grau (fácies granulitos), caracterizados por apresentar hiperstênio na sua composição. Associam-se por vezes a terrenos granulítico-charnoquíticos antigos, exemplificados pelos denominados verdes movimentados, tipo Candeias. Ocorrem ainda os tipos homogêneos tipo Verde Ubatuba, incluso durante os eventos Neoproterozoicos. Têm-se ainda materiais multicoloridos com predominância da cor verde, tanto em rochas calcissilicáticas, quanto em metaconglomerados polimíticos e monomíticos (Fig. 3) incluso nos cinturões metamórficos regionais.



**Figura 3** - Granito Verde Fashion - metaconglomerado polimítico mostrando seixos e fragmentos de composição variada, dispostos em matriz fina esverdeada.

Os granitos leucocráticos, denominados comercialmente de granitos brancos, ocorrem em terrenos de magmas trondhjêmíticos e em exposições de albita granito (Fig. 4). Os granitos cinza-claro, exemplificados no tipo Ouro Branco, constituem afloramentos de granitos classificados como "S", de origem crustal e composição metaluminosa a peraluminosa leucocrática (MENDES *et al.*, 2002). Formados por leucogranitoides a duas micas, resultantes da fusão de metassedimentos dispostos nos níveis mais inferiores da crosta terrestre (processo de anatexia). Comumente ocorrem encaixados em metapelitos por vezes migmatizados.

O granito preto verdadeiro ou absoluto constitui afloramentos de rochas máficas. No caso de apresentar textura equigranular média a grossa ou porfirítica, corresponde a exposições de rochas de composição diorítica a gabro-norítica de textura grosseira, pertencentes a complexos plutônicos intrusivos. Quando homogêneos e destituídos de foliação associam-se ao magmatismo máfico pós-tectônico aos eventos tectono-termais atuantes. Como exemplo tem-se o preto São Marcos, relacionado ao magmatismo máfico precoce atuante na denominada Província Borborema de idade neoproterozoica. Pode ocorrer também em rochas vulcânicas máficas de composição basáltica e em diques de diabásio, onde o espaçamento das fraturas de alívio existentes definirá o seu uso como rocha ornamental.



**Figura 4** - Granito Branco Ceará - coloração esbranquiçada em função da composição rica em albita.

As rochas ornamentais destituídas de foliação associam-se a corpos plutônicos intrusivos, constituindo estruturas circulares e semicirculares, com forma em geral variando de arredondada a elíptica. Os tipos de coloração rósea e avermelhada ocorrem geralmente em complexos graníticos de composição alcalina ricos em ortoclásio e microclina. Geralmente relacionam-se aos plutonitos

de Suíte Potássica Calcioalcalina (MENDES; PAIVA, 2003). No que concerne ao granito Marrom Imperial, estas rochas constituem cumulus de k-feldspatos envolvidos por uma aureóla de microclina rósea em torno dos grãos, contendo ainda anfíbolito e piroxênio. Ocorrem encaixadas em quartzo-sienitos de alto potássio, que constitui o seu controle litológico. Apresentam aspecto homogêneo, destituídos de foliação. No caso do granito Marrom Imperial associam-se aos sienitos de idade neoproterozoicas, enquanto o denominado Café Bahia encaixam-se em plutonitos de composição semelhantes, mas datados do Paleoproterozoico. Em geral as rochas de tonalidade marrom e granulação grosseira relacionam-se a plutonitos de Suíte Shoshonítica e composição sienítica com alto teor em feldspato potássico. Os granitos amarelos resultam da alteração do feldspato pela ação do intemperismo químico. Na pesquisa deste litotipo, é importante a elaboração de furos de sondagem com o intuito de se definir a espessura da porção intemperizada e, conseqüentemente, o volume da fácies amarela e a viabilidade econômica de sua exploração.

Têm-se ainda rochas ornamentais associadas a metapsamitos (metarenitos, quartzitos) e metaconglomerados os quais, de acordo com a composição, apresentam cores variadas. São exemplificados por litologias escuras como o Chocolate Brasil e de tons claros, como o Rosa Bahia. Estes litotipos ocorrem nas faixas dobradas. Associam-se a metassedimentos de coloração, composição e granulometria variável.

Existem casos em que o controle dos jazimentos acha-se condicionado não apenas ao tipo litológico, mas também ao tectonismo atuante. Como exemplo, tem-se o “Granito Via Láctea” aflorante na região de Belo Jardim - Estado de Pernambuco, cuja tonalidade azulada resultou do aumento da temperatura provocada pela ação mecânica, ocorrida durante o cisalhamento transcorrente atuante naquela área.



**Figura 5** - Granito Tipo Rosa Vesúvio – exibindo textura pegmatoide.

Tem-se ainda o controle tectônico-estratigráfico, o qual pode ser exemplificado pelo Granito Azul Sucuru, associado a riodacitos porfiríticos, intrudidos durante a fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro. Eventos semelhantes ocorrem em Paramirim, no Estado da Bahia. Relacionados ao mesmo evento, ocorrem ainda os granitos multicoloridos, grosseiros, de textura pegmatoide, não deformados, expostos em terrenos da Subprovíncia Rio Grande do Norte, e considerados como pós-tectônicos ao Ciclo Brasileiro, exemplificados pelos tipos Bourdon, Branco Borborema e Vesúvio (Fig. 5).

Os condicionantes presentes nos granitos aplicam-se também aos mármore, os quais constituem exposição de rochas calcárias metamorfisadas ou sedimentares com diagênese alta, além de outros condicionantes capazes de interferir no aspecto estético, como:

- Presença de estruturas estromatolíticas, associadas à paleoambientes específicos, detectáveis nas faixas dobradas portadoras de rochas carbonáticas, por vezes apresentando padrões estéticos movimentados, bastante apreciados no mercado.
- O teor em magnésio, pois os mármore dolomíticos apresentam granulação fina e são mais competentes, enquanto os calcários calcíticos são mais plásticos e sujeitos a dobramentos. Salienta-se que a maior plasticidade provoca o aparecimento de dobras e desenhos, resultando em diferentes padrões estético-decorativos; são também sujeitos a uma maior recristalização e conseqüentemente tendem a apresentar uma granulação mais grosseira. Diferentemente, nos dolomíticos, por serem mais rúpteis, a tendência é apresentar fraturas frequentemente percoladas por veios de quartzo.
- Concentrações de matéria orgânica e demais impurezas nos sedimentos devem ser observadas, pois elas podem originar mármore escuros ou com padrões cromáticos diferentes, muito valorizados comercialmente.

Assim como nas rochas silicáticas, os parâmetros mencionados para os diferentes tipos de mármore podem também serem colocados em bases de caráter prospectivo regional. Logo, os fatores de cunho geológico e demais parâmetros atuantes na formação dos jazimento de rochas ornamentais, devem ser averiguados tanto na pesquisa de rochas silicáticas, quanto carbonáticas.

## **2.7. Estudo geológico regional e importância dos mapas previsionais**

Programas prospectivos regionais constituem um importante instrumento de apoio oficial ao desenvolvimento do setor de rochas ornamentais. Tais programas têm por objetivo aferir o potencial geológico de determinada região, além de gerar informações sobre infraestrutura, áreas aflorantes, painel de direitos minerários, amostras e conteúdo fotográfico sobre litotipos catalogados, propiciando ao setor privado subsídios técnicos que minimizem os riscos de investimento no desenvolvimento de novas jazidas.

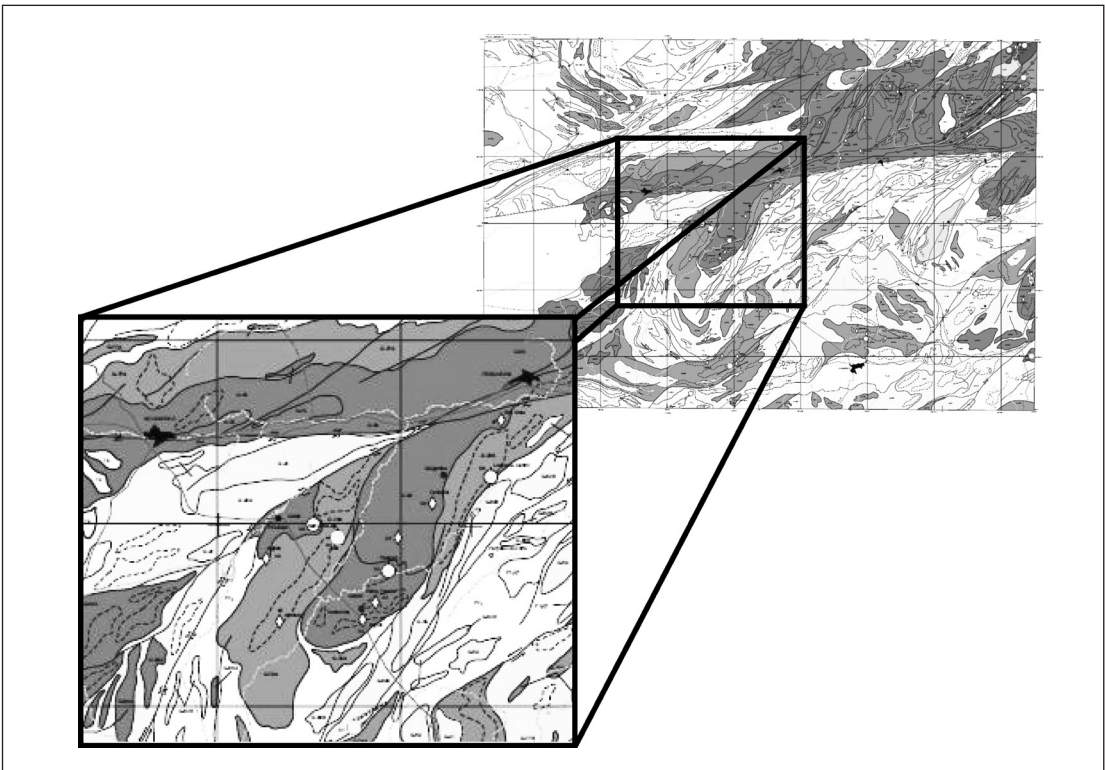
Durante a fase inicial dos trabalhos de mapeamento voltada para a pesquisa de rochas ornamentais, deve-se utilizar a interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélite mediante análise de sensoriamento remoto. Tais metodologias nos permitem a definição e a cartografia preliminar dos principais domínios litológicos, a localização das áreas com rochas aflorantes, incluindo setores com matações e maciços, além da avaliação do arcabouço tectônico-estrutural da região estudada. Salienta-se que os trabalhos de fotointerpretação permitem também a descrição das formas de relevo, sua evolução, paisagens geradas e principalmente informações sobre a existência de áreas desnudadas. Após a elaboração do mapa fotogeológico preliminar, deve-se avaliar e integrar os estudos aerogeofísicos disponíveis, interpretá-los e correlacioná-los com os elementos obtidos durante a fase de compilação bibliográfica e interpretação de aerofotos.

A elaboração de programas de pesquisa regional deve contemplar três etapas de trabalho: estudo preliminar, levantamento de dados em campo e consolidação dos dados.

A primeira etapa, o estudo preliminar, consiste na elaboração de um mapa prospectivo, uma carta sobre as condições de infraestrutura e um painel sobre os direitos minerários. Durante sua execução, devem ser elaboradas a montagem e a confecção das fichas para cadastro das ocorrências e adquiridos os equipamentos necessários à execução dos trabalhos de campo.

Na segunda fase, de campo, devem ser checados e estudados os diferentes domínios litológicos fotointerpretados, incluindo cadastro, análise estrutural e amostragem das ocorrências conhecidas e inéditas. Esta etapa inclui, ainda, a avaliação *in situ* dos aspectos geológicos e geomorfológicos, além da análise das feições litológicas e tectônicas dos diferentes domínios detectados.

Durante a fase três, denominada de consolidação de dados, as amostras coletadas deverão ser enviadas para o laboratório, visando à realização de análises petrográficas, ensaios de caracterização tecnológica e confecção de chapas serradas e polidas. Nesta fase, após a avaliação e integração de todos os elementos disponíveis, deve ser elaborada a versão definitiva do mapa de potencialidade para rochas ornamentais de amplitude regional, acompanhado da nota explicativa, fichas de cadastro e catálogo das ocorrências estudadas, contendo o acervo fotográfico das feições de campo e das peças do mostruário. O mapa deve ser acompanhado de um painel sobre os direitos minerários das ocorrências detectadas, além de diagnósticos setoriais e discussões sobre ações complementares a serem desenvolvidas. As figuras 6 e 7 mostram modelos de mapa e da legenda que deve ser utilizada na elaboração de uma carta de potencialidades para rochas ornamentais.



**Figura 6** - Exemplo de Mapa de potencialidade de rochas ornamentais. Mendes & Paiva, 2003.

	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			
Rochas ornamentais tipo exportação (granitos nobres)	G-84	14	10	9	10	1	5	20	5	8	Sienito de Toritama	Granito tipo Marrom Imperial de composição sienítico monzonítica e cor marrom escuro. Jazimentos 1, 2 e 3 sob a forma de lentes.	Quartzosienito aflorante em Toritama e Cachoeirinha. Suite shoshonítica.
	G-80	12	8	5	8	5	10	20	6	6	Migmatito de Garanhuns	Granito movimentado tipo Rosa Imperial, cor-de-rosa bastante suave. Exportado na forma de blocos Jazimentos 11,12,14,15 e 66	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlados pela sequência de migmatitos rosa-avermelhado.
	G-76	12	8	6	5	6	10	20	5	6	Ortognaisse migmatito de São Francisco	Granito movimentado de cor cinza a cor-de-rosa suave, com estrutura nebulítica/dobrada. Mina 62.	Ortognaisse migmatizado de composição granítica a granodiorítica.
Mercado interno e eventualmente externo	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. Jazimentos 29 e 30.	Granitos pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo os tipos de cores amêndoa a cinza.
	G-67	7	7	8	10	10	0	12	5	8	Sienito de Toritama	Quartzosienito de cor marrom, textura porfírica média. Passível de emprego no mercado interno. Jazimento 26, sob a forma de matacões e maciços.	Suíte shoshonítica peralcalina (encaixante dos granitos tipo marrom imperial)
	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 maciços e matacões. Mina núm. 35.	Sequência peraluminosa leucocrática formada por metaluminosa, leucogranitos e granitos a duas micas.



	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				
<b>Mercado interno</b>	G-51	6	5	10	10	5	0	5	5	5	5	Granito de Fazenda Nova	Granito grosseiro, porfírico de cor cinza-rosado, com matriz rica em máficos. Jazimentos 54, 55 e 56.	Pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa. Incluindo tipos de cores amêndoa a cinza.
	G-46	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Sienito de Cachoeirinha	Sienito rosa, textura porfírica destituída de orientação. Jazimento núm. 63.	Pertencente à suite shoshonítica aflorante em Toritama e Cachoeirinha.
	G-41	6	5	5	5	5	0	5	5	5	5	Granito de Paranatama	Granito cinza-claro a escuro, de textura equigranular média, a duas micas. Jazimento núm. 53.	Pertencente à sequência peraluminosa leucocrática.
	G-40B	10	5	5	0	5	0	5	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 inclusos na sequência sedimentar.

Figura 7 - Modelo de legenda do mapa de potencialidades. Elaboração dos autores.

## 2.8. Objetivos a serem alcançados

Fornecer ao setor empresarial informações de cunho geológico confiável e que servirão de suporte a investimentos futuros na geração e desenvolvimento de novos jazimentos de rochas ornamentais.

Divulgar informações técnicas junto aos setores interessados sobre o potencial geológico em rochas ornamentais de uma determinada região, contribuindo assim para a atração de novos investimentos e geração de emprego e renda.

Confeccionar um catálogo sobre as ocorrências cadastradas, o qual deverá incluir fotos dos jazimentos e das placas polidas, dados sobre a localização, resultados de análises, ensaios tecnológicos, aplicações recomendadas, comentários acerca das reservas potenciais, perspectivas de mercado, preços prováveis, além de tópicos sobre a geologia de cada setor estudado.

## 3. Pesquisa geológica de detalhe

### 3.1. Considerações gerais

Esta fase tem por objetivo quantificar e qualificar os materiais rochosos selecionados durante a etapa de pesquisa geológica regional e verificar a viabilidade técnica e econômica de sua ex-

plotação. Os trabalhos a serem executados abrangem: reconhecimento e mapeamento geológico-estrutural dos depósitos; amostragem dos diversos litotipos aflorantes; análise petrográfica e caracterização tecnológica das rochas selecionadas; tipificação e avaliação comercial dos litotipos de interesse; e amostragem industrial.

A execução de tais serviços visa fornecer ao investidor uma radiografia do jazimento, propiciando a execução de um melhor planejamento operacional das futuras operações de lavra, com a escolha adequada do método e dos equipamentos que melhor se adaptem às características geológicas da jazida. É nítido que a falta de conhecimento geológico relativo à área da pedreira tem sido a causa do insucesso de várias empresas que atuaram no setor de exploração de rochas ornamentais.

Sabe-se que a extração de rochas ornamentais em matacões e em maciços pelo método de bancadas abertas, depende de um criterioso trabalho de pesquisa de detalhe, o qual propiciará ao minerador o completo conhecimento das características físico-mecânicas da rocha a ser extraída. A obtenção de tais parâmetros é, portanto, de fundamental importância para o bom desempenho das futuras operações de lavra e contribuirá de forma significativa para o bom êxito do empreendimento.

Por desconhecimento, falta de interesse ou impulsionados pela ideia de pular etapas, os empresários não dão a devida atenção à pesquisa geológica de detalhe e preferem realizar investimentos na aquisição de modernos equipamentos de lavra com a perspectiva de se tornarem competitivos. Acontece que na maioria das vezes, tais máquinas não correspondem favoravelmente às expectativas depositadas, pelo simples fato de não serem compatíveis com as características geológicas do jazimento.

A falta de pesquisa geológica de detalhe tem conduzido à lavra predatória de matacões e maciços rochosos, gerando grande volume de rejeitos, baixa recuperação das pedreiras, diminuição do percentual de lucratividade e perda de competitividade, ocasionando, inclusive, em certos casos, o abandono das frentes de exploração. Tal fato, além do prejuízo econômico-financeiro e das frustrações causadas no investidor, ocasiona danos irreparáveis ao meio ambiente e desalento nas comunidades locais que na sua grande maioria veem na mineração uma oportunidade de crescimento econômico-social.

Portanto, faz-se necessário difundir nas empresas e entre os técnicos atuantes no setor a importância da realização de trabalhos de pesquisa geológica de detalhe, incluindo, além do mapeamento geológico-estrutural de detalhe, o emprego de métodos geofísicos e a execução de sondagens rotativas, com o objetivo de se obter dados litoestruturais da rocha em subsuperfície. É igualmente importante a definição da presença e distribuição espacial e quantitativa das fraturas e demais descontinidades (falhas, veios e planos de foliação). Devem ser observadas, também, as variações faciológicas e a presença de massas pegmatoides, veios, enclaves, xenólitos e nódulos de oxidação, pois tais irregularidades interferem no padrão estético-decorativo da rocha e consequentemente na sua comercialização.

Todos estes fatores referenciados, além de condicionarem o padrão estético dos materiais rochosos e a sua aplicação, interferem diretamente na taxa de recuperação da jazida, na vida útil do depósito e, consequentemente, no resultado dos impactos ambientais decorrentes de tal atividade.

### **3.2. Características, aspectos e feições relevantes para a pesquisa e a exploração**

Conhecer as reais dimensões dos jazimentos é de suma importância, pois permite calcular a reserva útil do maciço a ser explorado e o tempo de vida útil da pedreira que deve ser superior a 20 anos, em média, para dar o retorno do investimento e ao investidor. Caso a pedreira seja em matacões, seus volumes devem ser superiores a 100 m<sup>3</sup> para viabilizar sua exploração. Em função

da geometria dos matacões e de encontrarem-se, muitas vezes, alterados; esta sistemática de lavra tende a provocar baixa recuperação, sobretudo durante as operações de esquadreamento e desbaste para a elaboração de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Os fatores condicionantes das operações de lavra dizem respeito aos aspectos de acesso, condições de infraestrutura, aspectos topográficos do local do jazimento, reservas e tempo de vida útil do depósito. Deve-se levar em consideração também a espessura da cobertura de solo e de estéril, que deverá ser removida, e a sua distância em relação a rodovias, vias férreas e portos por onde será escoada a produção.

O processo inicial de uma pesquisa geológica de detalhe é fundamentado no conhecimento prévio de alguns aspectos essenciais, que a jazida e a rocha possuem e que a condicionam para o uso como material ornamental, quando interferem diretamente na formação do jazimento. O correto estudo desses aspectos propiciará o planejamento adequado das futuras operações de lavra e será determinante para o sucesso do futuro empreendimento mineiro. Esses aspectos condicionantes das operações de lavra podem ser subdivididos em dois grupos: geológicos e não geológicos.

### 3.3. Aspectos geológicos

Esses fatores podem ser classificados segundo as propriedades específicas das rochas e também serão condicionantes no processo de exploração. Em relação às propriedades específicas das rochas, os fatores que interferem diretamente na formação dos depósitos e condicionam o uso da rocha para fins ornamentais são:

- Composição da rocha;
- cor e tonalidade;
- textura e granulometria;
- homogeneidade litológica;
- nível de oxidação;
- grau de fraturamento e densidade de fraturas;
- densidade da presença de veios, enclaves e xenólitos;
- grau de deformação estrutural (presença de dobras, foliação, eixos e lineações); e
- características físico-mecânicas da rocha.

O estudo do fraturamento tem por objetivo definir o número de famílias de fraturas, suas direções e o espaçamento entre elas. Salienta-se que sistemas de cisalhamentos numerosos e pouco espaçados inviabilizam o uso da rocha para fins ornamentais; um fraturamento medianamente espaçado permite a extração de blocos comerciais, somente em certos setores do maciço, o que ocasiona a formação de grandes volumes de rejeitos e o conseqüente aumento do impacto ambiental; já um fraturamento escasso e bastante espaçado facilita a obtenção de blocos com dimensões e qualidade compatíveis com as especificações do mercado, propiciando um aumento da taxa de recuperação da pedreira.

Ressalta-se também que a presença de veios, enclaves e xenólitos em grande quantidade atua negativamente na exploração da rocha e de acordo com as quantidades e dimensões esses fatores podem inviabilizar o uso da rocha para fins ornamentais.

A análise do grau da deformação estrutural atuante sobre o jazimento é de suma importância, pois em gnaisses migmatíticos a presença de dobramentos desarmômicos e convolutos, aliada à tonalidade e à alternância sutil de níveis félsicos e máficos intensamente dobrados, emprestam

a rocha um notável efeito estético-decorativo que se constitui em fator de interesse comercial. Salienta-se, ainda, que para rochas miloníticas, tais como o “Red Brown”, que ocorrem associadas a zonas de cisalhamento é de suma importância a identificação das zonas de transtração e transpressão, uma vez que nos denominados locais de transtração, devido a menor intensidade do esforço atuante, pode-se encontrar materiais deformados e de aspecto exótico interessante, porém com um menor grau de cataclase, o que permite uma maior recuperação da pedreira.

A definição da petrografia, composição mineralógica, textura, granulometria e cor são de grande interesse, uma vez que são propriedades que imprimem o caráter ornamental da rocha, sendo esta última uma das propriedades mais significativas e decisivas do ponto de vista comercial. A definição de suas características físico-mecânicas, por meio da análise petrográfica e dos ensaios de caracterização tecnológica, é que condicionará sua utilização e conseqüentemente as metodologias de aplicação na condição de revestimento na construção civil. A constância litológica do afloramento, aliada a baixa concentração de veios, enclaves e xenólitos é bastante importante do ponto de vista técnico, pois o mercado prima cada vez mais pela qualidade dos materiais. Portanto, a alta incidência desses fatores e a falta de uma análise racional dos mesmos ocasionam uma baixa recuperação do material lavrado, o que pode inviabilizar as operações de lavra e deixar um passivo ambiental irrecuperável.

Outro fator importante a ser observado é a presença da oxidação, já que a sua existência e distribuição podem resultar na inviabilidade e abandono de uma pedreira. Caso a oxidação ocorra de forma bem distribuída e homogênea ao longo da rocha, dando uma tonalidade amarelada aspecto envelhecido, o valor de mercado passará a ser bastante atrativo.

### **3.4. Aspectos não geológicos**

Clima, leis, transporte, logística, realidades políticas e comerciais, contexto da infraestrutura e disponibilidade de serviços são alguns dos fatores que podem permitir, facilitar, dificultar, ou impedir o desenvolvimento de um empreendimento no setor de rochas ornamentais. Os aspectos econômicos são os principais elementos envolvidos em cada etapa e em cada nível do processo de forma a garantir a exequibilidade do mesmo. Conseqüentemente, no estudo do potencial de uma área, este elemento deve ser considerado desde os procedimentos iniciais. Ênfase particular é dada a este ponto uma vez que, na grande maioria dos casos, os estudos e a análise de uma área são conduzidos dentro de limites de tempo disponível e em relação a um orçamento financeiro definido; a execução de cada atividade relaciona-se obviamente com os critérios básicos do gerenciamento econômico regulados pelo custo, retorno e lucro. Uma alusão particular deve ser feita à legislação, ao clima e ao meio ambiente, fatores que podem inviabilizar um empreendimento mesmo sendo viável sob o ponto de vista técnico-econômico.

#### ***Aspectos legais***

A legislação em cada país define os critérios que devem ser observados em relação às atividades preliminares de um empreendimento mineiro (pesquisa, prospecção, exploração), à lavra e ao processamento. Os critérios compreendem a documentação, regulamentos que envolvem as concessões de lavra e autorizações, regulamentações aduaneiras vigentes para importação e exportação, sistemas fiscais e leis da moeda para operadores estrangeiros, critérios de saúde, higiene e segurança no local de trabalho, os quais são mais abrangentes e rigorosos em países industrialmente avançados etc.

Para a abertura de uma nova pedreira é necessário adquirir uma licença para a pesquisa inicial e outra para a exploração. A obtenção das licenças é um processo que costuma demorar anos. Em determinados países, algumas licenças têm durações muito limitadas, de modo que a exploração, pesquisa e testes para que os quais tal autorização foi solicitada devem ser finalizados o mais rápido possível, enquanto em outros pode ser adiada por um tempo maior sem que a autorização expire. Cada um destes direitos envolve obviamente custos, procedimentos burocráticos, obrigações e limitações que variam de um país para outro em função dos regulamentos da mineração vigentes naquele país. No entanto, a legislação deve ser rigorosamente observada e seguida.

No Brasil, o primeiro passo para o empreendedor interessado em explorar qualquer substância mineral é a obtenção de autorização federal a partir de um requerimento ao Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, do Ministério de Minas e Energia MME. O direito de prioridade à obtenção de autorização de pesquisa ou do registro de licença para fins de exploração mineral de uma determinada área é concedido ao interessado cujo requerimento tenha por objeto área considerada livre, para a finalidade pretendida, à data da protocolização do requerimento no DNPM. O direito de exploração de recursos minerais, dependendo do tipo de substância mineral, pode ser obtido pelos regimes de concessão de lavra, licenciamento, registro de extração ou autorização de lavra garimpeira. As rochas ditas ornamentais – Mármore e Granitos – estão sujeitas aos regimes de concessão e autorização, enquanto as ditas de revestimento estão sujeitas aos três primeiros regimes de aproveitamento acima citados.

De modo geral, a mineração brasileira está submetida a um conjunto de regulamentações, no qual os três níveis de poder estatal possuem atribuições com relação à mineração e ao meio ambiente. Assim, em face da legislação federal vigente os empreendimentos mineiros estão submetidos ao duplo licenciamento, à concessão federal referente aos aspectos da exploração da lavra (licenciamento mineral) e à licença ambiental estadual no que tange ao controle e proteção do meio ambiente. O processo de licenciamento ambiental realiza-se em três etapas: a Licença Prévia - LP, a ser concedida na fase preliminar da atividade; a Licença de Instalação - LI, a ser concedida na fase de implantação do empreendimento, com o detalhamento de projetos, obras de engenharia e processos de controle ambiental a serem utilizados e a Licença de Operação - LO, que autoriza o início de qualquer atividade ou equipamento potencialmente poluidor.

### **Aspectos climáticos**

As características climáticas de uma área na qual as reservas estão localizadas podem ter impacto significativo na viabilidade econômica e técnica de um projeto de exploração. As diversas restrições impostas por situações climáticas desfavoráveis têm repercussões na produtividade, com consequentes despesas financeiras extras ou desequilíbrio econômico. Chuva e neve, especialmente quando concentradas em determinados períodos do ano, geralmente forçam a paralisação das operações por longo e variado período de tempo; por outro lado, a ausência total de precipitações pode causar problemas em virtude do escasso suprimento de água, gerando a necessidade de obtenção de abastecimento de outras fontes.

Situações nas quais as atividades são restritas pela presença de neve e congelamento do solo são encontradas em muitas pedreiras em vários países, as quais têm, evidentemente, sua produção organizada considerando essas limitações. Contudo, a natureza rara de certos materiais requer que eles estejam, em muitos casos, disponíveis no mercado mesmo quando a produção é interrompida. Da mesma maneira, existem muitos países em regiões equatoriais e tropicais onde intensas

chuvas sazonais restringem o trabalho nas pedreiras e o trânsito ao longo das estradas de acesso. A localização de pedreiras em altitudes elevadas restringe a capacidade de produção dos maquinários utilizados, junto com as dificuldades de trabalho sob tais circunstâncias: os maquinários perdem, em média, 10% da capacidade de produção a cada 1.000 m acima do nível do mar, dessa forma é necessário instalar sistemas muito mais eficazes para conseguir obter resultados e produtividade aceitáveis.

Além dos problemas já mencionados, os efeitos decorrentes do volume excessivo das precipitações impossibilitam o acesso aos depósitos, uma vez que as estradas ficam muito danificadas e necessitam de substancial trabalho de reconstrução e manutenção, contribuem para o surgimento de problemas técnicos envolvendo equipamento e comprometem claramente a segurança do trabalho em função do volume e fluxo d'água e da quantidade de lama gerada.

### **Aspectos ambientais**

Os aspectos ambientais são ligados ao impacto do trabalho da pedreira e do processamento, estes últimos sendo executados em instalações (serrarias, fábricas etc.) envolvendo grande volume de maquinários industriais.

As pedreiras modificam a paisagem, às vezes em grande escala, e alteram o equilíbrio geomorfológico, eco-biológico e hidrogeológico. Alguns impactos são poluição sonora, especialmente nos lugares onde as perfuratrizes, *flame-jet* e explosivos são usados, emissões atmosféricas, poeira, vibrações, problemas de estabilidade, variações morfológicas e assoreamento de cursos d'água.

As indústrias de processamento também geram impactos ambientais, tais como as quantidades elevadas dos materiais residuais como, por exemplo, "lascas" e lamas, ruídos, poeira. Existem inúmeras consequências para o ambiente, variando do simples distúrbio em áreas povoadas à vulnerabilidade das reservas de água, da redução da capacidade de autodepuração de rios à destruição de ambientes biológicos e de micro-habitat inteiros. A extensão dos danos e mudanças que esses aspectos podem provocar na vida de cada indivíduo é frequentemente ignorada ou não imediatamente compreendida pelos leigos, mas as repercussões sociais são, às vezes, muito importantes. A tarefa do crescimento consciente e da ponderação com o impacto ambiental talvez esteja na ampliação de soluções mais eficientes, na tentativa de conciliar crescimento sustentável com a proteção do ambiente em que vivemos. Vale ressaltar que nações emergentes ou menos industrializadas podem aproveitar a experiência dos países nos quais o impacto ambiental alcançou algum limiar de perigo, abordando desde o início os tópicos de proteção e prevenção, durante os estágios de projeto ou de desenvolvimento, reduzindo consideravelmente as consequências futuras para o ambiente. Entretanto, esta vantagem potencial é ignorada com frequência, especialmente tendo em conta que a legislação e os padrões em tais países não são tão severos e articulados quanto nos países nos quais o processamento da rocha já tem um desenvolvimento significativo. O Brasil, que conta com uma legislação ambiental muito rígida, tem avançado muito neste sentido nos últimos anos. Atualmente quase todas as empresas de beneficiamento de rochas recirculam a água de processo e depositam seus resíduos em aterros licenciados, buscando soluções técnicas para seu aproveitamento.

Ainda no tocante à localização, a análise das condições morfológicas da futura pedreira é muito importante, sobretudo em relação aos danos ambientais que a sua exploração poderá causar.

Em relação ao relevo as pedreiras podem se situar: no sopé da serra, no talude, no topo da elevação e em planícies. Aquelas localizadas no sopé da elevação apresentam impactos ambientais modestos e podem se desenvolver mais na horizontal do que na vertical. As pedreiras dispostas no talude

provocam, durante o seu desenvolvimento, um forte impacto visual, o manejo do capeamento é dificultado e costumam apresentar baixa recuperação. As jazidas situadas no topo da elevação são menos visíveis à distância, entretanto os resíduos da produção são lançados nas encostas resultando em um impacto visual grande. Já as pedreiras localizadas em planícies apresentam fácil acesso, facilidade de movimentação de equipamentos e blocos, baixo impacto visual e elevada taxa de recuperação.

### **3.5. Sistemática de trabalho proposta para uma pesquisa geológica de detalhe**

O planejamento de uma pesquisa geológica de detalhe deve englobar não apenas o estudo *in loco* do jazimento, mas também a elaboração das análises mercadológicas do produto, o impacto ambiental a ser gerado e a sistemática de exploração que melhor se adapte às características geológicas do depósito. Para melhor delinear as ações a serem desenvolvidas durante a pesquisa de detalhe, os trabalhos de pesquisa devem ser divididos em três etapas.

A primeira etapa compreende os chamados trabalhos de escritório, quando serão desenvolvidas as atividades de interpretação fotogeológica a partir de fotografias aéreas existentes e de imagens de satélites disponíveis sobre a região a ser estudada. Em paralelo serão realizados trabalhos de compilação bibliográfica do acervo geológico existente sobre a região a ser pesquisada, com a finalidade de reunir dados sobre a estratigrafia, petrografia, tectônica, ambiência geológica regional, além da análise e avaliação dos dados aerogeofísicos disponíveis. Tal atividade tem por finalidade permitir um conhecimento geológico prévio sobre a área a ser trabalhada, propiciar a elaboração do mapa geológico preliminar e, conseqüentemente, com os parâmetros a serem obtidos planejar a execução dos trabalhos de campo na pesquisa de detalhe propriamente dita nos locais do depósito a ser prospectado.

A etapa seguinte corresponde aos trabalhos de campo no local do jazimento, em que serão levados a efeito os serviços de reconhecimento geológico da área de interesse, selecionados os alvos a serem detalhados, seguido do levantamento topográfico, mapeamento geológico e levantamento estrutural de detalhe na escala 1:1.000 da área alvo, amostragem dos diversos litotipos mapeados, execução de trabalhos de geofísica terrestre, análise e avaliação da quantidade e espaçamento do fraturamento observado e das demais descontinuidades existentes. Em seguida serão providenciadas as amostragens para a preparação do mostruário e execução das análises laboratoriais, incluindo o estudo petrográfico e a elaboração dos ensaios de caracterização tecnológica dos litotipos de interesse comercial. Ainda nesta fase serão realizados serviços de amostragem industrial da futura pedreira, a qual incluirá a retirada de blocos dentro dos padrões exigidos pelo mercado, seguido dos serviços de serragem dos mesmos e produção de chapas serradas, polidas e de padronizados, com a posterior entrega a potenciais compradores para a devida avaliação mercadológica do produto.

A etapa terceira constitui a fase de consolidação dos dados e demais parâmetros obtidos nas etapas anteriores, os quais serão avaliados, analisados, interpretados, integrados e reunidos em um relatório final de pesquisa. Esse relatório abordará todos os elementos pertinentes à geologia do depósito, incluindo ainda a avaliação das reservas economicamente exploráveis e o tempo de vida útil do jazimento. Conterá também informações sobre as possibilidades de extração da rocha pesquisada, com comentários sobre seus parâmetros petrográficos e físico-mecânicos, além do tratamento dos elementos de ordem comercial obtidos sobre a avaliação mercadológica do produto. Tecerá também considerações sobre os parâmetros econômico-financeiros do futuro empreendimento mineiro, do tempo de retorno do capital a ser investido e da melhor sistemática de exploração a ser adotada.

### **3.6. Etapas a serem seguidas numa pesquisa geológica de detalhe**

Conforme o exposto no item anterior, a finalidade de uma pesquisa geológica de detalhe é a de obter-se o conhecimento das características físico-mecânicas do maciço rochoso, suas reservas explotáveis e os condicionantes geoeconômicos necessários ao bom êxito do futuro empreendimento. Para a execução destes serviços deve-se seguir uma sistemática de trabalho, subdividida em itens, como veremos a seguir.

#### ***Consultas bibliográficas***

Inicialmente deve ser realizado um levantamento e análise bibliográfica das publicações referentes aos trabalhos geológicos desenvolvidos anteriormente na região a ser estudada, incluindo teses, dissertações de mestrado, monografias, mapeamentos geológicos, relatórios de pesquisa geológica e artigos de congresso, com o objetivo de coletar informações sobre a geologia da região. De maneira especial, dados de estratigrafia, tectônica, parâmetros estruturais, geofísicos e metalogenéticos regionais, com a finalidade de se obter uma primeira avaliação das zonas que apresentem um melhor potencial de interesse para uma posterior análise de detalhe.

#### ***Fotointerpretação geológica***

Faz-se necessário a execução de serviços de fotointerpretação a partir de fotografias aéreas e de imagens de satélites disponíveis, nos quais se procurará identificar as unidades litológicas nas áreas a serem pesquisadas, seus padrões estruturais, os principais caracteres fisiográficos, áreas de afloramento, bem como a reprodução, em maior detalhe, da planimetria da área. Posteriormente, em conjunto com os parâmetros coletados na compilação bibliográfica, será elaborado o mapa fotogeológico preliminar.

#### ***Reconhecimento geológico***

Em seguida aos trabalhos de revisão bibliográfica e estudo fotogeológico, deve ser realizado um reconhecimento geológico da área a ser requerida, que servirá para programar os trabalhos posteriores, além de propiciar a identificação de locais de interesse contendo praças de matações e maciços, com boas condições para explotabilidade. Nesta fase deverá ser observada uma série de feições, tais como: morfologia e dimensões dos afloramentos, características da rocha, incluindo a cor, textura, homogeneidade, variação de fácies, nível do fraturamento e demais descontinuidades. Serão também tecidas considerações sobre o nível de alteração e de oxidação observado, espessura da cobertura do estéril, condicionamento topográfico dos afloramentos, condições de acesso e de infraestrutura. Esses dados deverão ser condensados, preferencialmente, em forma de uma ficha de afloramento.

#### ***Levantamento topográfico***

Após a conclusão dos trabalhos de reconhecimento geológico serão iniciados os trabalhos de topografia, que incluirão levantamentos na escala 1:5.000 da área requerida para pesquisa, detalhados para a escala 1:500 nos setores escolhidos para a realização das futuras operações de lavra. O levantamento topográfico serve para elaborar uma base planialtimétrica para plotar as informações que serão coletadas nas prospecções geológicas posteriores.

#### ***Mapeamento geológico de detalhe e semidetalhe.***

Ao término da fase inicial do levantamento topográfico e reconhecimento geológico, serão elaboradas as primeiras bases planialtimétricas, tendo início o mapeamento geológico das áreas com



interesse nas escalas 1:1000 ou 1:500 para a plotação das informações geológicas obtidas durante os serviços do mapeamento geológico e do levantamento estrutural de detalhe.

Durante a execução desta atividade, será analisada, em profundidade, a forma de ocorrência do litotipo pesquisado, com ênfase no aspecto estético-decorativo, presença e densidade de feições indesejáveis, tais como: fraturas, veios, enclaves, corpos pegmatoides e aplitos de composição granítica. Proceder-se-á, também, a escolha de setores favoráveis para implantação de possíveis frentes de lavra, com a avaliação de suas reservas, das condições de acesso, facilidade de embarque do material produzido e observação das condições mínimas de infraestrutura local. Em paralelo será elaborada uma análise das fraturas e veios, foliação, eixos de dobramentos e demais lineações, seguido do seu tratamento por meio da projeção estereográfica, com vistas à elaboração de blocos de partição, os quais permitirão orientar o processo de abertura das frentes de lavra.

### ***Levantamento geofísico***

O levantamento geofísico será feito com GPR (Ground Penetrating Radar), para auxiliar na detecção de fraturamentos e veios, em subsuperfície, do maciço a ser estudado, definição da espessura do capeamento e da geometria dos corpos subjacentes, tais com a presença de matacões e maciços enterrados. Pode ser empregado também no planejamento operacional e consequentemente na redução dos impactos ambientais a serem produzidos durante as futuras operações de exploração. O emprego de tal método será de suma importância na definição do processo de abertura ou não de uma pedreira.

### ***Sondagem***

Baseado nas informações adquiridas durante a execução dos mapeamentos geológico e estrutural de detalhe e com a finalidade de se obter dados de subsuperfície deve ser efetuado furos de sondagem, com profundidade média entre 20 a 30 metros e amostragem efetuada a cada 0,50 metros. Esses furos deverão ser nivelados e amarrados topograficamente. O número de furos não deve ser inferior a três, já que a partir deles espera-se conseguir informações tridimensionais para auxiliar no futuro planejamento das ações de lavra.

A sondagem servirá tanto para a definição do volume de reservas, quanto para a obtenção dos parâmetros estruturais, de variações litológicas e de padrões estéticos em profundidade. Devem ser utilizados barriletes com diâmetro em torno de 10 cm, de forma a serem obtidos testemunhos mais resistentes a quebraamentos resultantes da vibração ou impactos da sonda. A descrição dos testemunhos de sondagem deverá ser feita em escala de centímetros, sendo amostrado e analisado todos os fatores estruturais e geológicos observáveis nas amostras obtidas. É muito importante a definição dos ângulos existentes entre os planos de acamamento, xistosidade e de toda estrutura detectada, principalmente os fraturamentos e zonas de milonitização, os quais devem ser correlacionados com os elementos obtidos em superfície.

### ***Amostragem***

Após a definição dos caracteres geológicos e estruturais será processada a coleta de amostra, para estudos petrográficos, estimando-se a confecção de uma lâmina por litologia mapeada. Em consonância, será efetuada a retirada de bloquetes para produção de placas padronizadas de 30 cm x 30 cm x 01 cm, com um total de 50 placas. Tais placas, depois de devidamente polidas, serão

destinadas a usuários de rocha ornamentais, os quais deverão dar um parecer inicial sobre a aplicação das rochas aflorantes, na área objeto deste relatório, como material de revestimento. Ainda, durante esta fase, deverá ser coletada amostra do litotipo de interesse para elaboração de ensaios tecnológicos, segundo as normas da ABNT que regem o assunto.

### ***Análises petrográficas***

As amostras coletadas durante o mapeamento geológico serão submetidas à análise de lâminas em secção delgada, visando à caracterização petrográfica do litotipo em pesquisa, determinação de suas composições, textura, granulometria, caracteres microestruturais, porcentagem dos minerais constituintes, detecção de possíveis microfraturamentos, presença de minerais deletérios, além da identificação dos indícios de processos de alteração em andamento.

### ***Ensaio tecnológico***

Serão efetuadas amostragens do material, visando à realização de um conjunto de ensaios de caracterização tecnológica que incluem: massa específica aparente, absorção de água, porosidade aparente, compressão uniaxial simples, módulo de elasticidade na compressão, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, desgaste Amsler, alterabilidade e ensaios de gelo e degelo. Os resultados desses ensaios permitirão estabelecer um diagnóstico eficaz e preciso das condições de aproveitamento desse material, como rocha ornamental de revestimento, e nortear sua aplicação nos diversos campos da arquitetura e da construção civil.

### ***Análise de mercado***

A obtenção de resultados positivos nos estudos até então realizados, conduzirá à elaboração de uma pesquisa de mercado em nível interno e externo, objetivando, principalmente, a detecção e comparação com produtos já existentes e comercializados no momento. Isso inclui contatos com compradores potenciais, formas de apresentação do produto e a análise do confronto com o Markup de vendas, para avaliar a lucratividade já esperada do empreendimento.

### ***Serviços de escavações***

Durante os trabalhos de campo e com o objetivo de dar início ao processo de abertura do maciço ou do matacão, para a execução dos trabalhos de amostragem industrial devem ser realizados trabalhos de limpeza e retirada do solo do maciço existente. Caso seja necessário, deve ser efetuada a abertura de trincheiras, para analisar o comportamento da rocha em subsuperfície.

### ***Coleta de amostras para fins industriais***

A exploração de rochas para fins ornamentais será conduzida em pedreiras abertas em maciços rochosos e matacões, dos quais serão extraídos blocos dentro dos padrões e exigências do mercado para posterior aparelhagem, serragem de chapas e polimento, visando à obtenção de chapas e padronizados em regime industrial. A execução de tais serviços permitirá uma avaliação industrial segura, quanto às reais possibilidades de emprego de uma rocha para fins ornamentais. Salienta-se que a abertura da pedreira para a execução desses testes permitirá a obtenção dos seguintes elementos:

- Observação detalhada do comportamento da rocha no seu interior;
- obtenção de informações quanto ao método mais adequado e os equipamentos necessários para as futuras operações de lavra;

- extração de blocos dentro do padrão exigido pelo mercado;
- definição dos custos de extração e dos parâmetros necessários à lucratividade do empreendimento; e
- preparação da equipe e seu aprimoramento na condução dos trabalhos de lavra.

Em síntese; a elaboração dos testes de amostragem e produção industrial permitirá a definição do custo de produção do material, incluindo as fases de extração e beneficiamento.

### ***Relatório de pesquisa***

Os dados obtidos no decorrer de todas as atividades de campo serão analisados, interpretados, corrigidos, integrados, avaliados e plotados em mapas. Em seguida será efetuado o cálculo da reserva da ocorrência e definido o tempo de vida útil do jazimento, culminando com a elaboração do relatório final de pesquisa, incluindo um plano de viabilidade econômico-financeira para exploração do material.

## **3.7. Importância da aplicação dos métodos de prospecção geofísica**

O uso de técnicas geofísicas, especialmente métodos sísmicos, é recomendado na prospecção de rochas ornamentais. Estes métodos geofísicos podem ser aplicados em estudos preliminares de maciços e matacões visando à detecção de fraturamentos, veios e enclaves, definição da espessura do capamento e verificação da geometria de corpos subjacentes, tais como maciços e matacões soterrados.

O método geofísico baseia-se no princípio de que um corpo sólido, como uma rocha, pode transmitir em seu interior ondas elásticas que podem ser geradas por detonação, vibrações e impactos mecânicos. Existem dois tipos de ondas elásticas: as ondas longitudinais (P), onde as partículas do meio vibram na direção da propagação e as chamadas ondas transversais (S), que constituem ondas cuja vibração das partículas do meio se desenvolve perpendicular à direção de propagação.

Os métodos sísmicos de prospecção geofísica se fundamentam na análise do comportamento das ondas (P) e (S), sendo que a onda longitudinal (P) é mais utilizada na avaliação sísmica. A análise do método baseia-se no estudo do tempo de chegada dessas ondas, em um certo número de pontos escolhidos, sendo possível deduzir as posições das diferentes interfaces de contato, em que as ondas se refletem, refratam ou são amortecidas, quando encontram heterogeneidades ou descontinuidades no meio em que se propagam. Essas variações são representadas por xenólitos, enclaves, veios, massas pegmatoides e presença de sistemas de fraturas.

Salienta-se que nas rochas granitoides a velocidade de propagação dessas ondas situa-se no intervalo de 5.000 m/s a 6.000 m/s. No caso da rocha ser bastante homogênea e destituída de fraturas, as velocidades acima podem ser obtidas e se manterem constantes nas diferentes medidas. No caso do material conter xenólitos, veios, enclaves e variações litológicas, as variações observadas na velocidade de propagação das ondas longitudinais situam-se na faixa de 14%. Entretanto, quando a frente da onda encontra planos de fraturas, suas trajetórias sofrem significativos desvios, o que provoca retardo dessas ondas em até 40%, na base de recepção. Tal atraso constitui uma queda de velocidade, interpretada como presença de fraturas e de falhamentos.

A experiência operacional mostra que a utilização de métodos sismológicos na pesquisa de detalhe de rochas ornamentais é de suma importância para o conhecimento em profundidade do comportamento estrutural do maciço e, conseqüentemente, no processo de planejamento para escolha do melhor local para a abertura da pedreira.

### ***Uso da Projeção Estereográfica na Interpretação dos Elementos Estruturais na Pesquisa de Rochas Ornamentais***

Durante a execução dos serviços de mapeamento geológico de detalhe e do levantamento sistemático dos dados estruturais deve-se efetuar um minucioso estudo do fraturamento e falhamentos observados, incluindo a sua distribuição espacial: geometria, direções, planos de mergulho e frequência. Posteriormente, as famílias de fraturas observadas podem ser interpretadas mediante o emprego de projeções estereográficas, as quais são elaboradas a partir de um número relativo (frequência) de fraturas existentes em cada direção.

O emprego do método de projeção estereográfica permite o tratamento dos dados coletados, inclusive à elaboração dos elipsoides de tensão e deformação obtidos a partir de indicadores cinemáticos, culminando com a definição dos campos de tensão atuantes sobre o maciço a ser pesquisado. Com essa sistemática de trabalho pode-se elaborar seu bloco de partição, o qual fornecerá a direção mais adequada para abertura da pedreira (MENDES, 2008). Sua utilização auxiliará na definição das superfícies de longante, tricante e levante, propiciando o planejamento correto das futuras operações de lavra.

O método consiste, primeiramente, em mapear e definir os sistemas de fraturas observados no jazimento. Em seguida, criar um banco de dados com esses elementos e, posteriormente, com o auxílio do “Software Stereonet”, obter os diagramas de rosetas e de polos com a rede de Schmidt. Estes diagramas mostram tanto a direção do fraturamento estudado, quanto à distribuição dos diferentes planos de cisalhamento.

A análise dos diagramas de projeção estereográfica permite deduzir o par conjugado formado pelas direções dos cisalhamentos, cuja bisetriz do ângulo formado pelo cruzamento desses planos coincide com a direção de compressão máxima atuante ( $\sigma_1$ ). A interpretação desses diagramas permite visualizar o eixo de compressão ou tensão mínima atuante e também as direções das fraturas de tensão e distensão que afetaram o jazimento.

Convém frisar, que após a obtenção destes parâmetros e com a elaboração dos elipsoides de tensão e do bloco de partição pode-se definir com segurança a melhor direção de abertura da pedreira. Com base em critérios mecânicos e levando em consideração a dinâmica de deformação dos corpos, sugere-se inicialmente a execução de cortes perpendiculares à direção de compressão máxima que atua sobre o maciço, com o objetivo de criar um campo de alívio. Em seguida dar continuidade ao processo de abertura da pedreira, cuja direção de corte deve coincidir com a do eixo de compressão mínima ou de máxima deformação dos elipsoides de esforço e de deformação (MENDES, 2010).

A aplicação de tal sistemática de trabalho permitirá a redução das tensões de alívio atuantes sobre o maciço, durante a fase inicial do processo de abertura da pedreira, propiciando assim uma diminuição no aparecimento das fraturas de alívio decorrentes desta fase. A adoção de tal sistemática de trabalho propiciará sem dúvida, um aumento da taxa de recuperação das operações de lavra contribuindo para a redução do volume de resíduos gerados.

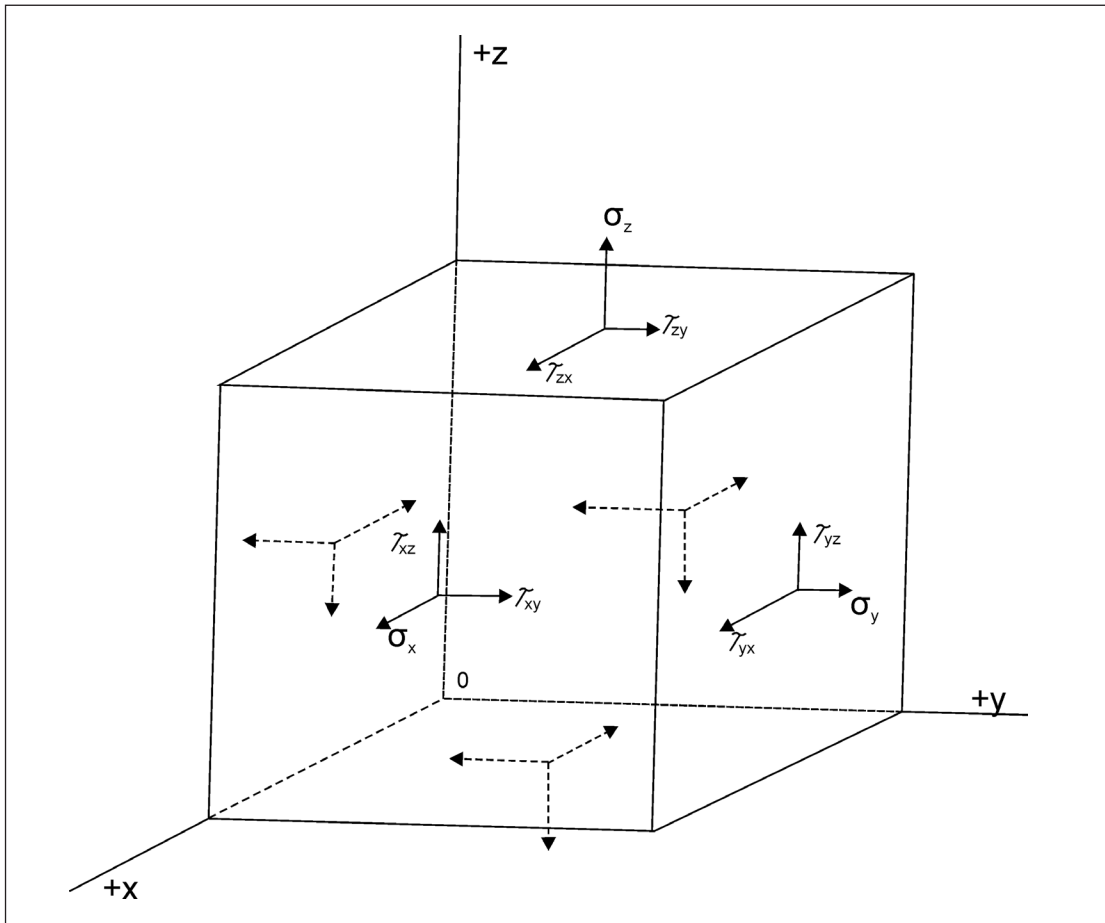
### **3.8. Estudo das tensões atuantes e o uso do elipsoide de tensão**

Nos corpos rochosos deformados, em estruturas diversas, a distribuição das tensões é na maioria das vezes complexa. Para exemplificar o raciocínio examina-se a distribuição das tensões em um elemento cúbico unitário do corpo. Em cada um dos lados do cubo a tensão pode ser decomposta em três componentes a X, Y, e Z. Dessa forma, ter-se-á uma componente normal a

cada um dos lados e duas a ele paralelas, designadas de tensões cisalhantes representadas por  $\sigma$ . Haverá assim um total de nove tensões, que podem ser adicionadas e definem a condição de tensão do cubo (Fig. 8). Contudo, várias condições de tensão são interdependentes, algumas tendem a girar o cubo, mas supondo que o estado é de equilíbrio, as tensões que provocam rotação deverão se anular ou compensar.

Imaginando-se uma rotação em torno de "Z" provocada, por exemplo, pelas tensões cisalhantes tendem a se anular por terem sentidos opostos. Por conseguinte, somente seis das nove componentes de tensão são interdependentes e o estado de tensão em um elemento inteiro pode ser definido por meio de seis componentes. Como o componente inteiro cúbico encontra-se em equilíbrio, todas as tensões aplicadas podem ser decompostas assim como as tensões normais ao longo dos três eixos ortogonais, que representam os eixos principais de tensão. Segundo tais direções as tensões cisalhantes são nulas. Via de regra, as tensões, segundo essas três direções, são de magnitudes diferentes tendo a seguinte notação:

- $\sigma_1$  – Direção de tensão máxima;
- $\sigma_2$  – Direção de tensão intermediária;
- $\sigma_3$  – Direção de tensão mínima.



**Figura 8** - Resolução do campo de tensões, segundo os eixos cartesianos X, Y, e Z.

Em termos tridimensionais, a tensão num ponto pode ser convenientemente representada pelo elipsoide de tensões, conforme as concepções de Jaeger (1962), Nadai (1950), Ransay (1967), e Ransay & Huber (1983). Dessa forma, qualquer plano cuja atitude for paralela a dois dos três eixos principais será solicitado apenas por uma tensão normal  $\sigma$ , idêntica à terceira. Em qualquer outro plano arbitrário, as solicitações incluirão uma tensão normal, de magnitude intermediária entre  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  e uma tensão cisalhante  $t$ , cuja atuação é paralela ao plano.

Obviamente as intensidades de  $\sigma$  e  $t$  são funções não só dos valores das tensões principais, mas também do plano em relação às mesmas. Em termos teóricos, a tensão máxima cisalhante sucede-se ao longo de duas superfícies que fazem um ângulo de  $45^\circ$  com a direção de tensão máxima. O estudo de corpos rochosos mostra que, na prática, este ângulo é de  $33^\circ$ .

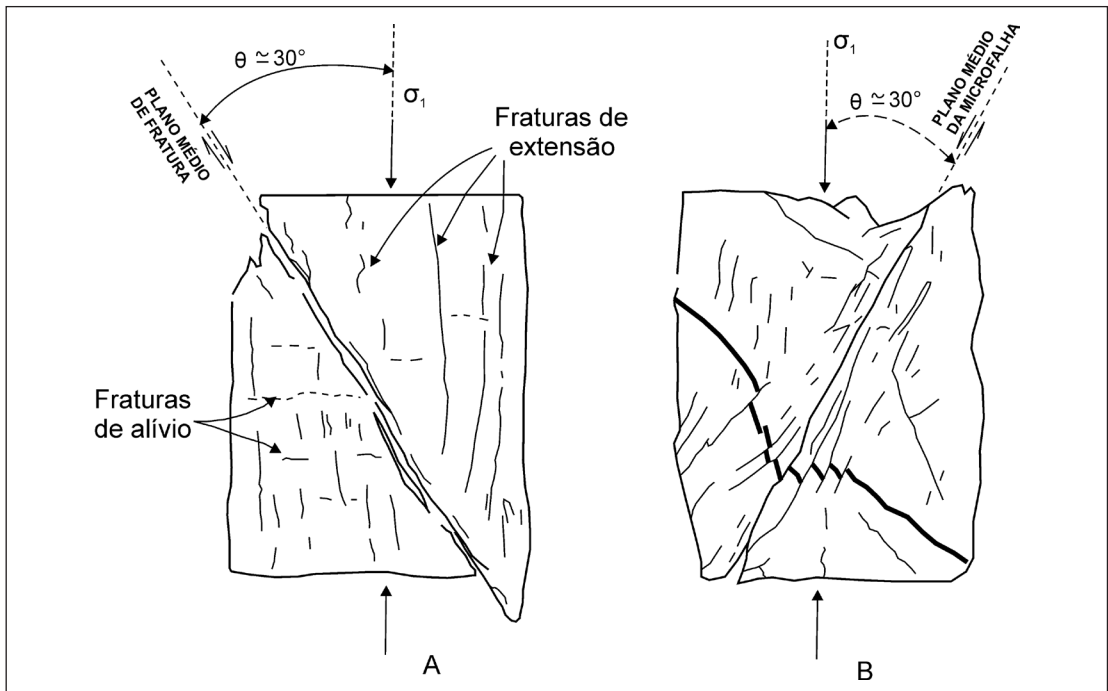
### 3.9. Dinâmica do fraturamento e interpretação estrutural dos parâmetros obtidos

Os estudos e ensaios em laboratório do fraturamento observado em materiais rochosos têm gerado um grande acervo de dados de real interesse para aplicações na mecânica de rochas e, principalmente, na lavra de maciços para fins ornamentais. Tais trabalhos têm esclarecido muitas das relações observadas em campo. Dentre os estudos desenvolvidos sobre este tópico, citam-se os de: Hubbert (1937 e 1951), Hubbert e Willis (1957), Handin (1957), Handin e Hager (1957 e 1958), Patterson (1958), Griggs e Handin (1960), Handin *et al* (1963), Patterson (1958) e Rocha (1971). Estes autores demonstraram, de forma clara e surpreendente, as relações constantes existentes entre as zonas de fraturas e a direção axial da tensão atuante.

Considerando-se que um corpo rochoso, funcionando como corpo de prova, seja submetido a uma ação compressiva, ocorre o desenvolvimento de numerosas fraturas, que podem ser agrupadas em quatro conjuntos principais. Tais cisalhamentos aumentam em número e dimensões até que o corpo se rompa definitivamente. Esses rompimentos ocorrem pelo aproveitamento de fraturas longitudinais à direção principal de tensão ou pelo desenvolvimento de superfícies de cisalhamento com ângulo teórico de  $45^\circ$  com a direção de compressão máxima. Pelo exposto, conclui-se que a direção de tensão máxima  $s_1$  constitui a bissetriz do ângulo que os planos de cisalhamento fazem entre si, o qual é menor que  $90^\circ$  e em geral próximo a  $60^\circ$ .

As fraturas de tensão são geradas paralelas à direção de tensão máxima. Em muitos ensaios de compressão em corpos rochosos, em formatos prismáticos ou cilíndricos, estes se rompem por meio de fraturas ou lascas paralelas à clivagem de fratura e às faces verticais do prisma. Em outros casos, após a ação do esforço compressivo devido ao alívio gerado, as fraturas se dispõem perpendiculares ao eixo de compressão. Têm-se também o rompimento através de superfícies diagonais à direção do eixo de compressão máxima, em geral formando um ângulo teórico de  $45^\circ$  com a direção principal de tensão, que constituem as direções teóricas das fraturas de cisalhamento.

Além das fraturas de tensão ou extensão e de cisalhamento descritas, têm-se as fraturas de acomodação. Ensaios de laboratório descritos em Loczy & Ladeira (1978) mostram que se um prisma submetido a uma carga compressiva estiver em meio fluido, que lhe exerça uma pressão hidrostática elevada, encerrada a compressão e retirando-se o prisma da máquina observar-se-ão numerosas fraturas normais ao eixo de compressão. O mesmo acontece com o corpo rochoso em profundidade, quando sofre alívio de carga causado pela retirada do capeamento rochoso que o comprimia, passa a apresentar fraturas paralelas à superfície do relevo. Tais fraturas são denominadas de alívio ou de acomodação (Fig. 9).



**Figura 9** - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécimes rochosos submetidos à compressão. (A) granodiorito; observam-se fraturas subsidiárias. (B) granito; mostra que a fratura de cisalhamento principal constitui uma microfalha. Tais testes foram realizados por Borg e Handin (1966), simulando-se uma situação de crosta a 17,7 km de profundidade, correspondente a uma pressão de 5 Kb e a uma temperatura de 500°C Extraído de: Loczy & Ladeira, 1978.

As fraturas de acomodação ou alívio constituem fraturas de tensão geradas pela expansão do corpo rochoso, após se suprimir a atuação da tensão compressiva. Mas como os nomes anteriores são mais usuais, adota-se a terminologia já consagrada. Interpretando o estudo representado pela figura 9, compreende-se perfeitamente o mecanismo de geração das fraturas de cisalhamento desenvolvidas em rochas plutônicas (graníticas e granodioríticas).

Correlacionando os elementos obtidos a partir do estudo teórico da dinâmica do fraturamento, com parâmetros de um mapeamento geológico e estrutural de detalhe realizado num maciço rochoso podem ser definidas as direções principais de cisalhamento (par conjugado). Quanto à bissetriz do ângulo formado por essas direções, a mesma corresponde ao eixo de compressão máxima atuante  $\sigma_1$ .

Tal disposição permite obter as orientações de fraturas de tensão observadas na área em questão, as quais deverão se mostrar paralelas à direção de compressão máxima e perpendiculares à foliação SN. As fraturas paralelas à foliação SN constituem também fraturas de tensão geradas durante o alívio da fase compressiva, isto é, já no início do processo distensivo que afetou o maciço.

Convém salientar que, além das fraturas de tensão, ocorrem ainda fraturas de alívio sub-horizontais e horizontais, somente detectadas nos corte de bancadas, não visualizadas nos afloramentos ou em planta. Estes cisalhamentos constituem fraturas sub-paralelas ao relevo geradas por alívio de carga durante os processos erosivos e de decapeamento do maciço rochoso. Em certos casos, tais fraturas encontram-se preenchidas por material argiloso e, ocasionalmente, o espaçamento entre elas pode facilitar a exploração do material rochoso.

### 3.10. Influência das tensões confinantes no processo de abertura de uma frente de lavra para rochas ornamentais

Na natureza, um corpo rochoso é submetido a uma série de tensões confinantes denominadas de pressão litostática. O desconhecimento desses campos de paleotensões e a abertura pura e simples de uma pedreira em maciço podem resultar no aparecimento de um grande número de fraturas de tensão e alívio que, às vezes, chegam a inviabilizar as operações de lavra do jazimento. No Brasil, várias pedreiras constituídas por materiais considerados nobres, de larga aceitação no mercado internacional, já foram inviabilizadas por este problema. Portanto, o estudo das tensões, além de ser importante no planejamento das futuras operações de lavra, contribui para o aumento da taxa de produtividade da pedreira e na redução do volume de rejeitos gerados.

Sabe-se que o padrão de fraturamento estudado em uma pedreira está estreitamente ligado à orientação dos esforços que atuaram diretamente numa determinada região, e contribuíram para a estruturação do maciço. Portanto, somente a partir do estudo dessas estruturas, do seu tratamento com métodos de projeção estereográfica e da confecção do elipsoide de tensão, as orientações dos esforços que as geraram podem ser posicionados e definido o campo de tensões diferenciais que atuaram na área.

Sabendo-se que a qualidade de um bloco de rocha extraído durante o processo de lavra depende da eliminação das superfícies de fraqueza e de descontinuidades detectadas no maciço, o conhecimento delas permitirá estabelecer um planejamento das operações de lavra adaptada a cada situação.

Convém frisar que a análise estrutural, quando bem efetuada, permite no planejamento das futuras operações de lavra, a adoção de critérios que possibilitam um maior aproveitamento dos recursos pétreos. Tal estudo permitirá o descarte das zonas com maior fraturamento e imperfeições. Em consequência, os cortes executados na rocha, quando da abertura do maciço, devem ser orientados segundo o campo das tensões atuantes de forma a aliviar o tensionamento do jazimento antes do início do processo exploratório e, posteriormente, durante o seu desdobramento em blocos. Com base no exposto conclui-se que o processo de abertura deve ser orientado em concordância com as fraturas abertas (extensivas). Na locação e orientação das frentes de lavra devem, portanto, ser priorizadas as áreas em que as direções da foliação SN sejam paralelas às direções das fraturas abertas, pois a direção das mesmas será sempre paralela ao eixo de compressão mínima ( $\sigma_3$ ), constituindo no elipsoide de paleotensão a direção de alívio preferencial.

Vale ressaltar que o tratamento das informações obtidas nos mapas geológicos e estrutural de detalhe da pedreira em modelo 3D, permitirá visualizar o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas a serem analisados. Tal modelamento, quando associado à interpretação dos diagramas de projeção estereográfica e de rosetas das fraturas detectadas, associadas ao emprego do elipsoide de tensão vem reforçar a assertiva na qual a direção de tensão mínima constituirá a melhor direção para o corte de abertura de uma pedreira.

Esta consideração deverá ser confirmada pelo corte das bancadas a ser efetuado durante as operações de amostragem industrial visando à retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

### 3.11. Considerações gerais

A falta de conhecimento geológico relativo à área do jazimento tem sido a causa do insucesso de várias empresas que atuaram no setor. De acordo com o exposto nos itens anteriores, a exploração



de rochas ornamentais em maciço, por meio de bancadas abertas, depende de um criterioso trabalho de pesquisa geológica de detalhe, o qual propiciará ao minerador o completo conhecimento das características físico-mecânicas da rocha a ser extraída. A obtenção de tais parâmetros será, portanto, de fundamental importância para o bom desempenho das futuras operações de lavra e contribuirá de forma significativa para o bom êxito do empreendimento.

Salienta-se que o conhecimento dos condicionantes tectono-estruturais de uma determinada região, facilita os trabalhos de prospecção e execução da pesquisa de detalhe, pois a sua compreensão limita ou favorece a exploração de certos tipos de rochas ornamentais.

A qualidade dos blocos extraídos durante o desenvolvimento das operações de lavra dependerá, dentre outros aspectos, do conhecimento das superfícies de fraqueza representadas pelas descontinuidades, da densidade desses planos e de sua distribuição no espaço. O domínio técnico destes fatores permitirá um melhor planejamento nas operações de lavra e deverá ser adaptado a cada jazimento.

Com base no exposto, verifica-se que a elaboração do mapeamento geológico de detalhe seguido do levantamento estrutural e tridimensional das estruturas observadas é de suma importância para o bom êxito dos futuros serviços de exploração. Isto pode ser confirmado no corte das bancadas, para retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado, efetuado durante as operações de amostragem industrial e de acordo com esta concepção.

No tocante à definição do método e do tipo de equipamento a ser adotado, além dos serviços mencionados, faz-se necessária também a execução dos estudos de caracterização petrográfica e tecnológica da rocha a ser prospectada. Os resultados permitirão o conhecimento das características físico-mecânicas do litotipo, que aliada às condições estruturais e ao conhecimento do campo de tensões atuantes permitirá definir a melhor sistemática de trabalho que se adapta ao material a ser explotado.

Em maciços fraturados, a determinação da densidade e distribuição das fraturas e veios será de fundamental importância para a elaboração de um planejamento operacional capaz de maximizar a recuperação de blocos em uma frente de exploração. Salienta-se que a visualização tridimensional dos planos de fraturas e demais descontinuidades viabilizam a definição do tamanho e orientação dos blocos a serem lavrados, e dos setores que melhor se apresentam à abertura de frentes de extração.

O uso de projeção estereográfica e análise do elipsoide de paleotensões é importante para dar suporte às decisões técnicas relacionadas ao planejamento e operacionalização de uma lavra de rochas ornamentais. Salienta-se que tal sistemática de estudo pode ainda colaborar para o melhor entendimento das situações adversas, tais como a ruptura imprevista de blocos em determinadas direções durante os trabalhos de extração, transporte, serragem ou polimento. Convém frisar que, o levantamento geológico básico e de detalhe e a análise estrutural, constituem ferramentas imprescindíveis, mas não são suficientes para solucionar as dificuldades na determinação da geometria da pedra durante o planejamento da lavra. Para isso é necessário contar com um levantamento topográfico adequado à escala de trabalho e com a modelagem tridimensional do maciço e das estruturas nele detectadas, com o auxílio das técnicas de geoestatística. Estes estudos ainda devem ser complementados com a utilização de métodos geofísicos (GPR) e serviços de sondagem.

## **4. Pesquisa tecnológica industrial**

Embora não seja uma prática corrente na atividade de pesquisa mineral, a pesquisa industrial do corpo geológico constitui elemento relevante e indispensável para caracterização cromática

e estética e consequente avaliação econômica e de mercado dos produtos resultantes da lavra e beneficiamento das rochas ornamentais. A prática usual para expressar o padrão cromático recai sobre confecção de placas retangulares de dimensões reduzidas (20 a 30 cm), o que significa, equivocadamente, extrapolar estes exemplares a toda a massa mineral, representativa da jazida.

A pesquisa tecnológica industrial tem o amparo legal mediante requerimento de uma Guia de Utilização no DNPM. Esta Guia de Utilização é concedida pelo DNPM por um prazo predeterminado condicionada a comprovação de autorização ambiental fornecida pelo órgão competente.

Evidentemente que os blocos produzidos na amostragem industrial não constituem uma amostra representativa da jazida, porém, criteriosamente escolhido o local de extração, serão obtidas alíquotas que permitirão definir, em primeira aproximação, o padrão cromático e estético do material resultante da lavra do corpo geológico, objeto do estudo.

A execução de uma pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental deve ser precedida de um mapeamento topo-geológico de detalhe do corpo a ser explorado com indicação de todos os elementos visualizados macroscopicamente em campo, tais como: padrão cromático, cor predominante, fraturamentos, elementos deletérios, estruturas imbricadas, minerais associados etc., e complementada pelas análises petrográficas e execução de ensaios tecnológicos da rocha (densidade, porosidade, desgaste Amsler, dilatação térmica, resistências, degelo etc.).

As considerações desenvolvidas ao longo desta parte do capítulo aplicam-se tanto a jazidas de maciços rochosos quanto àquelas formadas por matacões.

#### **4.1. Importância técnica, econômica e comercial da pesquisa industrial**

Sob o ponto de vista técnico, econômico e comercial, a pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental permitirá, dentre outros fatores:

- Estabelecer os diferentes sentidos de corte dos blocos a serem produzidos e seus padrões cromáticos ou estéticos resultantes;
- obter parâmetros indicadores para o planejamento conceitual da lavra tais como: sentido de avanço; recuperação ou rendimento da jazida; dimensionamento de equipamentos e insumos etc.;
- possibilitar avaliar-se as características texturais, padrão cromático, presença ou ausência de elementos deletérios etc. e exposição de um ou mais cortes no maciço rochoso, promovendo melhores condições de interpretações e avaliações geológicas, estruturais e geomecânicas;
- estimar índices preliminares de produtividade dos equipamentos e insumos selecionados para o corte da rocha, como exemplo: rendimento das perfuratrizes, consumo de combustíveis e lubrificantes dos compressores, controle do corte e rendimento de fio diamantado; consumo de explosivos e acessórios; eficácia da massa expansiva; rendimentos de escavadeiras ou carregadeiras; etc. Estes índices de produtividade serão úteis para o planejamento e viabilidade econômica da lavra da jazida;
- produzir blocos em variados tamanhos, com dimensões compatíveis com as aberturas (bocas de entrada de blocos) dos teares de lâminas ou multifios diamantados;
- caracterizar o comportamento tecnológico da rocha, a nível industrial, a partir da serragem e polimento de blocos de dimensões industriais;
- obter chapas serradas, polidas, apicoadas ou flameadas, disponíveis para promoção em feiras ou outros eventos promocionais, bem como para comercialização com potenciais investidores; e

- formar, em primeira aproximação, o preço médio das chapas produzidas mediante avaliações comerciais reais e, conseqüentemente, definir os preços a serem praticados para blocos. Estas informações, acrescidas das avaliações de custos da pedreira, permitirão valorizar a jazida e sua viabilidade técnico-econômica-comercial.

Em suma, a importância da pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental recai sobre as possibilidades de avaliação dos produtos resultantes, principalmente quando os blocos retirados são submetidos à serragem e polimento em unidade industrial. Isto permitirá obter placas em dimensões comerciais, ou seja, representativas do produto final a ser ofertado no mercado aos potenciais consumidores.

## 4.2. Pesquisa industrial em nível de projeto

As atividades de pesquisa mineral de um depósito de rocha ornamental compreendem, além dos elementos básicos (localização, acessos, aspectos climáticos, tipos de vegetação, infraestrutura local e regional etc.), levantamentos topográficos, mapeamento geológico, análises petrográficas, ensaios tecnológicos, sondagens, amostragem industrial, ensaios industriais, nas etapas de lavra e beneficiamento.

Um planejamento da pesquisa tecnológica industrial bem elaborado fornecerá o dimensionamento dos equipamentos e instalações, cálculo de custos, sequência de atividades, implicações econômicas do impacto ambiental e análise dos aspectos geológicos e estruturais da jazida.

Na fase de mapeamento geológico deverão ser identificados alvos de subáreas em afloramentos selecionados para amostragens em blocos, objetivando: a produção de chapas serradas e polidas e placas, em tamanhos reduzidos; a realização de análises petrográficas e ensaios tecnológicos; e a delimitação de áreas para praça de manobra e movimentação de equipamentos.

Para o projeto de pesquisa tecnológica industrial será de fundamental importância: a caracterização do apoio logístico, pela avaliação das condições de acesso de cada ocorrência, considerando o transporte de blocos em carretas rodoviárias; verificação de disponibilidade de água e energia no local ou nas proximidades e mão de obra operacional na região (marleteiros, operadores de máquinas de corte de rocha, “blaster” etc.).

Em nível de projeto de pesquisa industrial será necessário projetar os acessos aos locais de execução dos serviços e delimitar áreas de “Bota-Fora” topograficamente adequadas nas proximidades das subáreas onde serão realizados os trabalhos de extração de blocos.

Para cada afloramento selecionado, os seguintes aspectos deverão ser observados:

- Descrição das características texturais;
- disponibilidade de mapa em escala adequada com indicações topo-geológicas;
- estimativa das reservas recuperáveis e recuperação projetada;
- seleção da tecnologia de corte;
- dimensionamento dos equipamentos de corte, desdobramento, remoção (carga) e transporte de blocos; e
- estimativa dos investimentos da amostragem industrial da jazida, discretizada por afloramento.

A recuperação da área amostrada deverá ser concebida visando sua recuperação ambiental no final da amostragem industrial, caso não seja comprovada a exequibilidade de lavra do depósito.

Deve-se prever o depósito dos resíduos nos níveis inferiores e a conseqüente cobertura com solo e terra vegetal para plantações de gramíneas ou espécies nativas, condições estas que con-

correm para um manejo mais fácil em relação ao objetivo pretendido. Deverão ser identificadas as espécies com melhores chances de adaptação considerando o clima e as precipitações anuais, os fatores limitantes do desenvolvimento de espécies vegetais, além de outras medidas.

### 4.3. Pesquisa tecnológica industrial em nível de execução

Em nível de execução, um estudo de caso em se tratando de maciços rochosos, as seguintes atividades deverão ser desenvolvidas para cada subárea selecionada:

- Levantamento topográfico planialtimétrico em escala de detalhe (1:500, por exemplo) numa área que englobe o maciço rochoso, área selecionada para “bota-fora”, local para instalação de Pau-de-Carga, estradas de acesso, construções existentes nas imediações do local etc. Este mapa a ser gerado, constituirá a base dos serviços de Amostragem Industrial a serem executados.
- Preparação das áreas de movimentação de equipamentos, carregamento de blocos e “bota-fora”. Os serviços de preparação normalmente são realizados com trator de esteira ou escavadeira ou pá carregadeira de rodas, auxiliados por um conjunto constituído de um compressor portátil de 360 cfm de capacidade, dois martelotes (perfuratrizes manuais) acionados a ar comprimido, mangueiras e acessórios, materiais de perfuração, lubrificadores de linha e afiadoras de brocas.
- Durante a amostragem industrial, canaletas de drenagem deverão ser implantadas com o objetivo de evitar os efeitos da erosão e canalizar as águas pluviais para o reaproveitamento nas instalações futuras.
- Abertura de uma “gaveta” no maciço rochoso com finalidade de produzir blocos de tamanho industrial e permitir se iniciar uma bancada para futura lavra. Os mesmos equipamentos utilizados na fase de preparação, (técnicas de perfuração e explosivos) acrescidos de *Flame-Jet* (maçarico de corte de rocha) ou Máquina de Fio Diamantado serão necessários, constituindo-se então a frota necessária à execução da produção e movimentação dos blocos na área de pesquisa industrial.

Os tamanhos dos blocos a serem produzidos na fase da pesquisa tecnológica industrial, com especificações de medidas mínimas e máximas para as três dimensões, são de fundamental importância para planejamento da fase de lavra futura, tanto pelo aspecto físico do bloco, quanto pela estimativa de recuperação e custos a serem projetados.

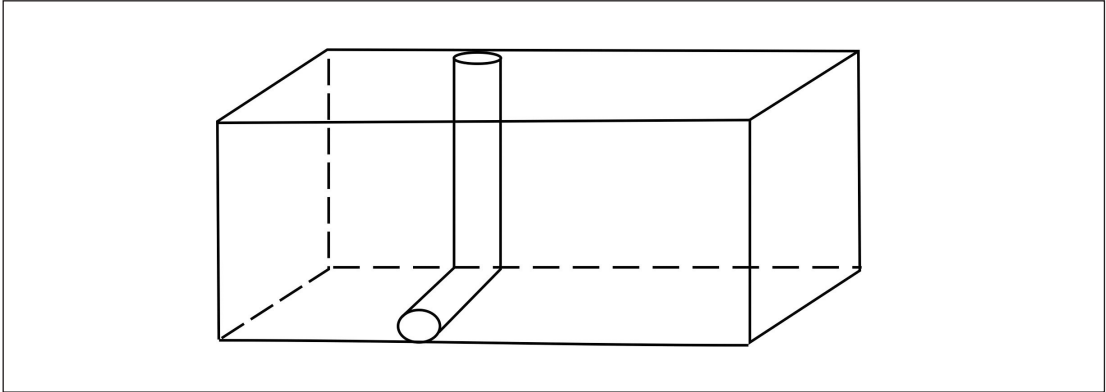
A prancha, após o tombamento, será submetida a cortes secundários e terciários visando produção de blocos nas dimensões desejadas. O esquadrejamento dos blocos poderá ser feito por perfuração com auxílio de cunhas de pressão e outras ferramentas manuais, explosivos ou argamassa expansiva ou, ainda, com fio diamantado. Deverão ser produzidos apenas dois ou três blocos por afloramento selecionado, os quais serão submetidos à serragem e ao polimento, em unidades industriais.

Na fase da pesquisa industrial deverão ser implantados os sistemas de controle de produção, utilização e manutenção de equipamentos, apropriação de consumos específicos dos materiais, regimes de operação mais adequados, produtividade da mão de obra etc.

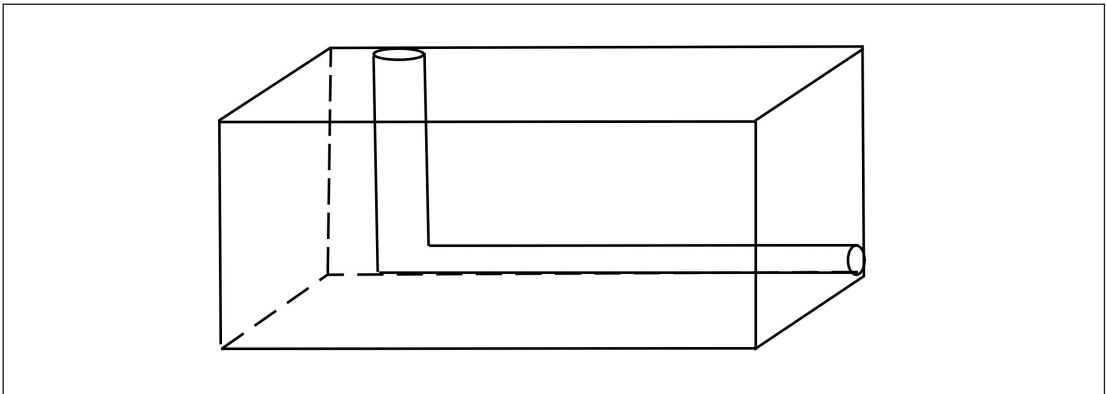
Operacionalmente, a sequência de execução de uma pesquisa tecnológica industrial de jazida de rocha ornamental (maciços graníticos) pode ser exemplificada por diferentes técnicas de extração nos seguintes eventos práticos, como estudo de caso.

### **Aplicabilidade das técnicas com fio diamantado**

- Marcação, com tinta, do prisma a ser removido (dimensões pré-estabelecidas).
- Marcações dos locais nos quais serão abertos os furos guias para passagem do fio diamantado (Figs. 10 e 11).

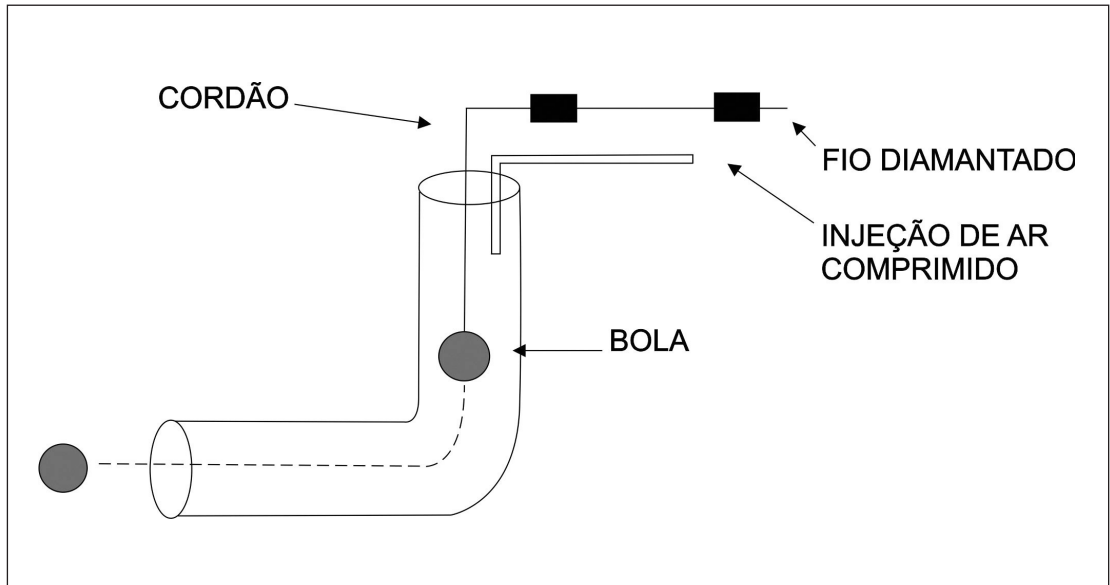


**Figura 10** - Furos Guias Para Passagem de Fio Diamantado / Corte Lateral. Elaboração dos autores.

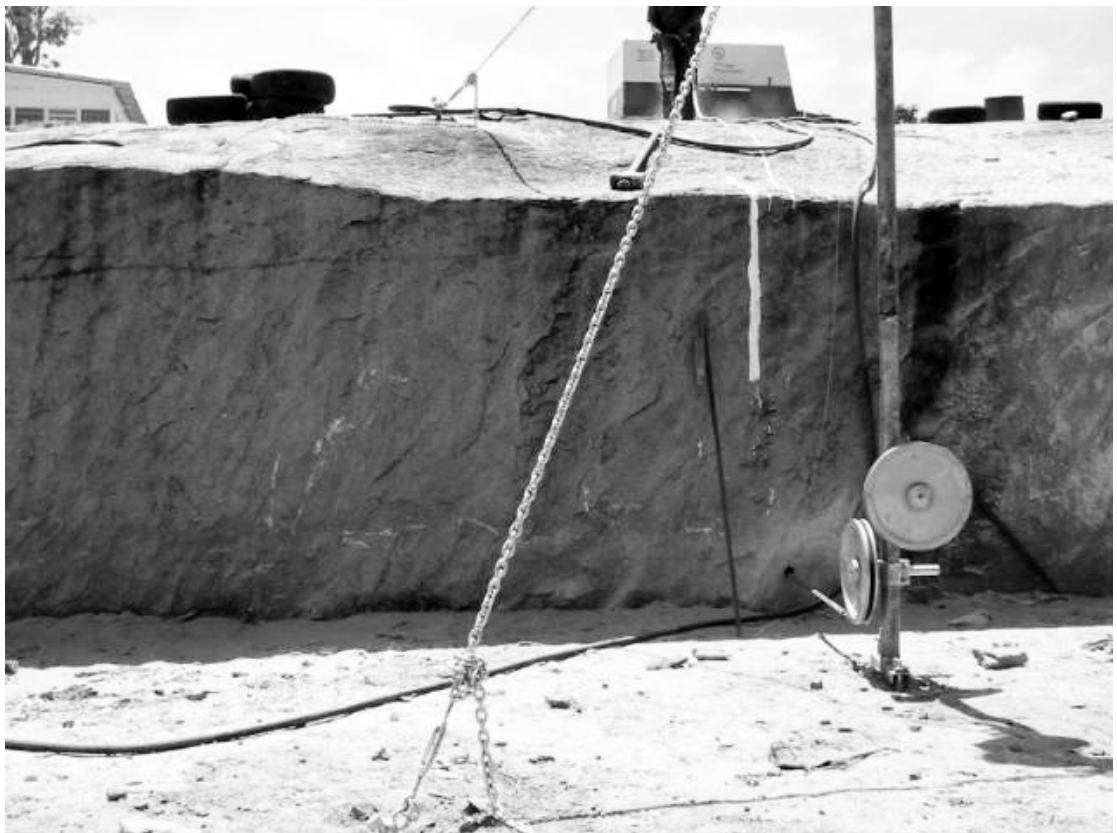


**Figura 11** - Furos Guias Para Passagem de Fio Diamantado / Corte de Fundo. Elaboração dos autores.

- Abertura dos furos guias, com sonda rotativa a ar comprimido, no diâmetro de 48 mm (AQ); um dos furos a ser feito será vertical e o outro horizontal, de modo a permitir, após a intercepção dos mesmos, a passagem do fio diamantado para iniciar o corte ao longo da face escolhida. O uso da sonda rotativa a ar comprimido, além de realizar os furos para a passagem do fio, permite que se efetue a testemunhagem do interior do maciço e, conseqüentemente, obter informações do mesmo. Inicialmente, passa-se pelos furos um cordão, e em uma de suas extremidades é amarrada uma pequena bola de pingue-pongue. O cordão com a bola é introduzido em um dos furos, oportunidade em que no furo em questão é injetado ar comprimido, através de uma espingarda (cano de pvc/acoplado à mangueira de ar) de modo que a bola com o cordão são expulsos através da boca do outro furo; após a passagem do cordão, o fio diamantado é amarrado em uma extremidade e assim sua passagem pelos furos guias é efetuada (Fig. 12).

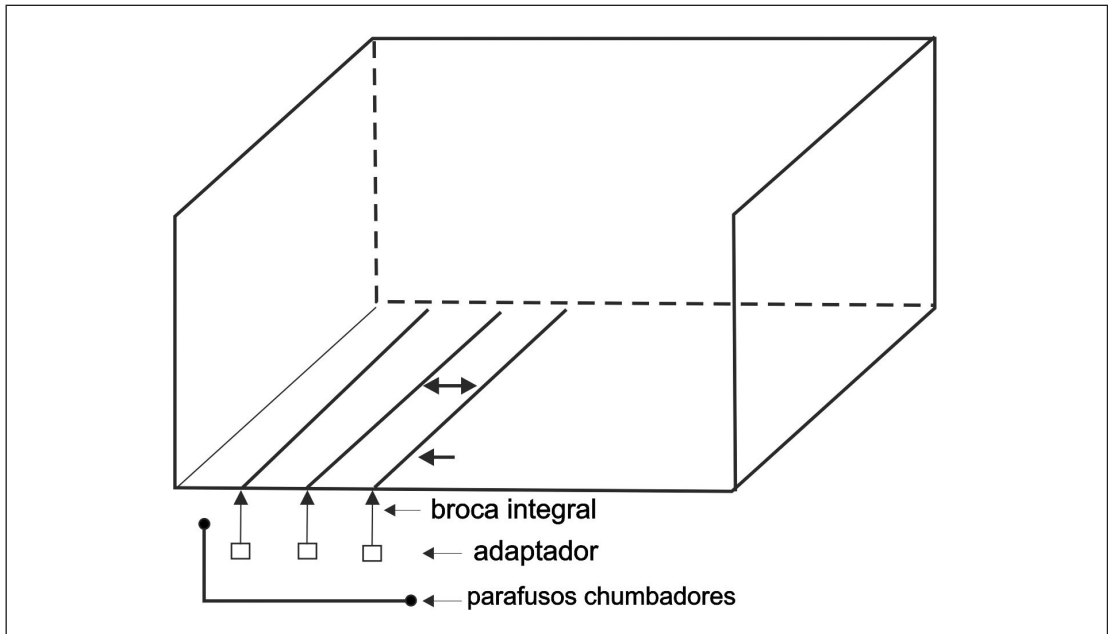


**Figura 11** - Croqui Esquemático Explicativo Para Passagem de Fio Diamantado. Elaboração dos autores.



**Figura 13** - Execução do Corte com a Máquina de Fio Diamantado. CBPM, 2002.

- O posicionamento da máquina de corte a fio diamantado é feito na frente da bancada ou na lateral da bancada de modo a poder fazer-se um corte contínuo na face a ser cortada (lateral ou de fundo); se não houver espaço na lateral para colocação da máquina, uma gaveta terá de ser aberta com o *flame-jet* de modo a permitir a sua instalação. A máquina é instalada sobre trilhos de modo a poder se deslocar, conforme o corte avança, de modo a manter o fio sempre bem tencionado (Fig. 13).
- Os furos de levante para corte horizontal do prisma, espaçados de 15 cm, serão marcados na base do prisma (a cerca de 5 cm do piso) e terão diâmetros de 33 a 34 mm e comprimento variável com o avanço da área de amostragem. Esses furos de levante serão executados por martelos pneumáticos manuais adaptados para executarem este tipo de furação. Uma estrutura metálica chumbada no piso por meio de cunhas, permite acoplar até quatro martelos ao mesmo tempo e que serão usados na furação (Fig. 14). Esses furos de levante serão tamponados com cartuchos de papel com recheio de argila e serão carregados com explosivos leves a uma razão de carregamento de 10 g/m<sup>3</sup>.



**Figura 14** - Croqui Explicativo Execução Furos de Levante. Elaboração dos autores.

- Após o desmonte do prisma de amostragem, este será inspecionado adequadamente para produção dos blocos de melhor qualidade. Os blocos demarcados na superfície superior do prisma serão retirados quando ocorrerá a operação de desdobramento de blocos, nada mais que a divisão do prisma em blocos menores, com a medida dos mesmos sendo o mais próxima possível das aberturas (bocas) dos teares nos quais serão processados para a produção de chapas. Esta operação de desdobramento será executada com perfuratrizes manuais ou montadas sobre trilhos (*slot drill*) e auxiliada, na sequência, por cunhas de pressão.
- Os blocos serão removidos com uso de equipamentos pesados (escavadeiras ou pá carregadeiras), como o da figura 15.



**Figura 15** - Escavadeira utilizada na Pesquisa Tecnológica Industrial. Foto: CBPM, 2002.

Um programa de pesquisa tecnológica industrial, envolvendo: reconhecimento e mapeamento geológico de detalhe da pedreira; planejamento e transporte de equipamentos até o local; execução das operações de campo; transporte de blocos; e serragem e polimento de chapas, pode ser desenvolvido em um prazo de 2 a 3 meses.

#### ***Aplicabilidade das técnicas dos explosivos***

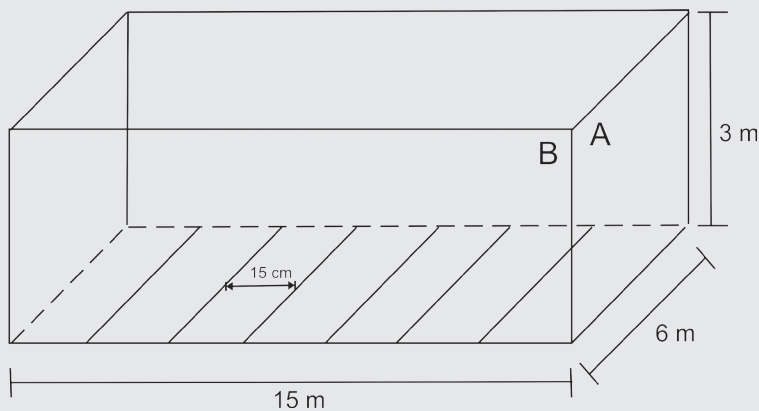
A capacidade que os explosivos têm de gerar energia está associada à sua capacidade de fraturar as rochas. Assim sendo, no caso específico das rochas ornamentais é fator preponderante que as mesmas sofram o mínimo dano possível em relação ao fraturamento (trincas) de modo a não comprometer seu aproveitamento. Deste modo, os explosivos mais usados em lavra de rochas ornamentais são: a pólvora negra, o cordel detonante e os explosivos granulados.

Chama-se “Plano de Fogo” à quantidade de explosivos em gramas, necessários para arrancar  $1 \text{ m}^3$  de rocha. Não existe nenhuma fórmula pronta para o dimensionamento de um “Plano de Fogo”, já que cada jazida apresenta características próprias (nenhuma jazida é igual à outra), assim sendo, deve cada pedreira por meio de inúmeros testes experimentais, definir a melhor razão de carregamento, sempre levando em conta que uma carga mal dimensionada pode comprometer o aproveitamento econômico de uma pedreira.



Os furos de bancada ou de levante, geralmente são carregados alternadamente (salta-se de um até quatro furos a depender das características da rocha); sendo que as cargas de fundo, que são unidas pelo cordel detonante e são colocadas nos furos podem também ter seu posicionamento alterado (em uns furos são colocadas ao final dos mesmos, enquanto em outros são colocadas em uma posição intermediária a depender também das características da rocha). O carregamento na maioria das vezes, principalmente em painéis e bancadas altas, é feito apenas com o cordel detonante, com a colocação de uma espoleta de retardo no primeiro ou no último furo da sequência. Os furos são geralmente enchidos com água e podem ou não ser tamponados.

### EXERCÍCIO PRÁTICO



A/B – Faces livres

Furos de levante espaçados entre si 15 cm (desenho em duas escalas propositalmente, para melhor visualização)

Prisma      Volume  $V: 6 \times 15 \times 3 = 270 \text{ m}^3$   
 Peso  $p: 270 \times 2,7 = 729 \text{ t}$

Razão de Carregamento

RC = Gramas de explosivo por  $\text{m}^3$  ( $\text{g} \times \text{m}^3$ ) de rocha a desmontar.

Em pedra ornamental a RC varia de pedreira para pedreira; no caso específico da pedreira Beija-Flor (Pedreira-Escola) a razão ideal de carregamento é de  $50 \text{ g/m}^3$ , com o carregamento sendo assim distribuído:

Um furo (6 m) carregando com Cordel NP 5 até ao fundo com um cartucho de granulado no final; um furo descarregado; um furo (3 m) carregado com cordel NP 5 até ao meio, com um cartucho de granulado no meio e assim sucessivamente até o final da linha da furação.

**EXERCÍCIO PRÁTICO**

Nº de furos de levante:  $15 \text{ m} : 0,15 \text{ m} = 100$  furos

Nº de furos carregados:  $100/2 = 50$  furos carregados

Nº de furos carregados (6 m):  $100/4 = 25$  furos de 6 m

Nº de furos de carregados (3 m):  $100/4 = 25$  furos de 3 m

Nº de furos descarregados = 50

RC =  $270 \text{ m}^3 \times 50 \text{ g/m}^3 = 13.500 \text{ g}$  de explosivo

(Cordel NP 5: 5 g de explosivo nitropenta por metro).

Metragem de Cordel NP            5: 25 furos x 6 m = 150 m

25 furos x 3 m = 75 m

Total = 225 m

Carga de explosivo de 225 m de cordel NP 5 =  $225 \times 5 \text{ g} = 1.125 \text{ g}$

Carga de explosivo em aberto:  $1.350 \text{ g} - 1.125 \text{ g} = 12.375 \text{ g}$

Explosivo granulado a ser usado (encartuchado): 12.375 g

Repartição de granulado por furo:  $12.375 \text{ g} / 50$  furos = 247 g por furo carregado.

Obs: Não se considerou neste caso o cordel utilizado na linha tronco (15 m) nem o que vai da boca do furo carregado até a linha tronco (+ 15 cm por furo/ $15 \times 50 = 7,5 \text{ m}$ ).

**5. Bibliografia e referências**

AZEVEDO, Alberto. Manual de Rochas Ornamentais, Módulos I e II. Relatório restrito da Pedreira Escola, Ruy Barbosa, Bahia, 2006.

ANHAEUSSER, C. R.; MASON, R. VILJEON, N. J.; VILJEON, R. P. A reappraisal of some aspects of Pre-Cambrian Sheild geology-Geological Society of America Bulletin, v. 80, Nov. p. 2175 - 2200.

ATLAS COPCO DO BRASIL Perfuração e Desmonte de Rochas, São Paulo, 1969.

BILLINGS, M. P. Structural Geology. 3 ed. [ New Delhi]: Prentice Hall, 1972. 606p.

BIZZI, L. A. *et al.* - 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.

BORG, I. & HANDIN, J. Experimental Deformation of Crystalline Rocks. Tectonophysics, V. 3, n 4, ed. especial. ELSEVIER. 1966.

CARANASSIOS, A.; CICCUCI, P. Tecnologias de Extração e Valorização das Rochas Ornamentais, V-23, Rochas de Qualidade. São Paulo, 1992.

CHIODI FILHO, C. Pesquisa Geológica: O Primeiro Passo. In: Revista Rochas de Qualidade Nº 117, Abril/Maio/Junho - 1994. p. 58-71.

CHIODI FILHO, C. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimentos no Brasil - Mercados Interno e Externo. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. Anais ... Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. 372p. il. p. 325-351.

CRESPO, Francisco. Manual de Rochas Ornamentais. Madrid: Ed. Entorno Gráfico, 1996.

DELGADO, I. M.; PEDREIRA, A.J. Companhia de pesquisa de recursos minerais. Síntese da Evolução Geológica e Metalogenética do Brasil. Salvador: CPRM, 1994. 1v.

DUARTE, G. W. Tecnologias de Extração de Rochas Ornamentais. Senai. Vitória, ES. 1994.

FÁBRICA DE EXPLOSIVOS PRESIDENTE VARGAS Utilização de Explosivos. Fábrica de Explosivos Presidente Vargas. Rio de Janeiro, 1971.

FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., 1996, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABGE, 1996, p. 369-380.

GRIGGS, D. T. & HANDIN, J., 1960. Observations on Fracture and a Hypothesis of Earthquakes. In: GRIGGS, D. T. & HANDIN, H. Rock Deformation- a Symposium Geol. Soc. Am. Mem. v. 7, 1960. p. 347-373.

HANDIN, J. Experimental Deformation of Rocks and minerals. Quart. Colo. School Mines, v. 52, 1957. p. 75-98.

HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure: Tests at Room Temperature Dry Samples. Geological Society of America bulletin, v. 41. 1957.

HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under confining Pressure: Test at High Temperature. Geological Society of America Bulletin, v. 42, 1958. p. 2892-2934.

HANDIN, J.; HAGER JR, R. V.; FRIEDMAN, M. & FEATHER, J. N. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure test. Geological Society of America Bulletin, v. 47, 1963. p. 717-755.

HERMAN, Curt. Manual de Perfuração de Rochas. São Paulo: Ed. Polígono, 1968.

HUBBERT, M. K. Theory of Scale Models as applied to the Study of Geology Structures. Geological Society of America Bulletin, v 48, 1937. p. 1459-1521.

HUBBERT, M. K. Mechanical basis for certain familiar geologic structures. Geological Society of America Bulletin, v 62, 1951. p. 355-372.

HUBBERT, M. K. & WILLIS, D. G. Mechanics of Hydraulic Fracturing. A. Inst. Min. Eng. Petrol. Trans.,v. 210, 1957. p. 153-166.

JAEGER, J. C. Elasticity, Fracture and Flow. 2 ed. New York: John Wiley, 1962.

JAEGER, J. C. & COOK, N. G. W. Fundamentals of Rocks Mechanics. [ S.1.]: Chapman and Hall: Science Paperbacks, 1969. 515p.

JAEGER, C. Rocks mechanics and engineering. [ S.1]: Cambridge at University Press.1972. 417p.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. *Projeção Estereográfica Aplicada à Geologia Estrutural* In: *Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica*. Editora Brucher. São Paulo. 1976. 627p.

MENDES, V. A - Os jazimentos de Rochas Ornamentais e a sua Relação com os Eventos Tectônicos Atuantes no Território Brasileiro. *Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste V. 1*. Recife, Nov. 2002. P. 1 a 6.

MENDES, V. A; PAIVA, I. P. - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Garanhuns. Escala 1:250.000 - CPRM - 2003.

MENDES, V. A; SANTOS, C. A. dos - Jazimentos de Rochas Ornamentais da Província Borborema. In: *IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*, (1). 2003 - Fortaleza. p. 33-39.

MENDES, V. A; PAIVA, I. P; SILVA FILHO, A. F. da - Condicionamento geológico das ocorrências de rochas ornamentais das folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. Escala 1:250.000. In: *III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*, (1). 2002. Recife. p. 99 - 112.

MENDES, V. A.; PAIVA, I. P. Rochas Ornamentais de Pernambuco: Folha Garanhuns. Recife: CPRM, 2003. Escala 1:250.000 (inédito). 90p.

MENDES, V.A. Relação entre os eventos geológicos e a formação dos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas de qualidade*. São Paulo, março/abril/maio, 2003. Edição 169. p. 165-171.

MENDES, V. A.; FIGUEIROA, I. Importância da pesquisa geológica regional na descoberta de novos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas & Equipamentos*. Lisboa, ed. n 81, 1º trimestre/2006. p. 110-120.

MENDES, V. A.; PAIVA, I. P.; SILVA FILHO, A. F. da; SEONE, J. C. S.; SANTOS, E. J. dos, GUIMARÃES, I. de P.; SIQUEIRA, D. V. e BRASIL, E. Condicionamento Geológico das Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. In: *SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife.. Anais... Recife: [ s.n], nov. 2002. 1 v. Escala 1:250.000. p. 99-112.*

MENDES, V. A.; SOUZA, J. C.; SANTANA, O. J. Nova sistemática de pesquisa para rochas ornamentais. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 22/ CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3 / SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE 6, 15-18 nov. 2007, Natal. Resumos ... Natal: SBG. Núcleo Nordeste, 2007. 1 CD ROOM. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG).*

MENDES, V.A. Estudo Geoestrutural do Maciço de Granito Vermelho Frevo Sertânia, PE. UFPE, 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Recife.

NADAI, A. *Theory of flow and fracture of solids*. 2 ed. New York: Mc Graw - Hill Book Company, 1950. 2.v.

PAIVA, I. P.; BARBOSA, A. J. Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco. Recife: CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2000. 3 mapas. Escala 1: 250.000. (Informe de Recursos Minerais. Série diversos, 3). 45p.

PATTERSON, M. S. Experimental deformation and faulting. in *Wombeyan marble*. Bull. Geological Society of America Bulletin., v. 69, 1958. p. 465-476.

PORTUGAL. Instituto Geológico e Mineiro, Divisão de Minas e Pedreiras Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto, Lisboa; Portugal. 1999.

QUÍMICA EDILE DO BRASIL Manual de Utilização de Fract. Ag: argamassa expansiva. Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2000.

RANSAY, J. G. Folding and fracturing of rocks. New York, Mcgraw - Hill. Book Company, 1967. 58p.

RANSAY, J. G. & HUBER, M. The techniques of modern structural geology: fold and fractures. London: Academic Press Inc., [1987]. 702p.

ROCHA, M. Mecânica das rochas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986. 276p.

SANDVICK DO BRASIL Manual de Perfuração de Rochas, São Paulo, 1996.

SEOANE, J. C. S; OSAKO, L. S; SILVA FILHO, A. F. DA MENDES, V. A. - Integração e avaliação de base de dados de prospecção de granitos e migmatitos, em sistema de informações georreferenciadas. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais da Província Borborema. (1). 2002- Recife - p. 124 - 131.

SOUZA, H.; CARALANI, G. Terraplanagem e Escavações em Rochas. São Paulo: Ed. Mcgraw Hill do Brasil, 1977.

STRECKEISEN, A. L., Classification and nomenclature of plutonic rocks. Recommendations of the IUGS - Subcommission on the systematic igneous rocks. Geologisch Rundschau. Internationale Zeitschrift für geologie. Stuttgart. 1976. Vol 63. p. 777-785.

TEODORO, W.; RUBIO, G. Segurança na Mineração em Uso de Explosivos. Rio de Janeiro: Fundacentro, 1986.

WINKLER, H. G. F. Petrogênese das rochas metamórficas. 4 ed. São Paulo: EDGARD BRÜCHER LTDA. 254p.

ZANINI, F. P. Projeto cadastramento dos granitos do Estado de Pernambuco: Relatório Final - Texto. Recife: Convênio CPRM/Minérios de Pernambuco. 1983. 158p.



