
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS DE ROCHAS E
RENDIMENTOS DE CORTE COM FIO DIAMANTADO
NA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

JOÃO BOSCO BURGOS COSTA

CAMPINA GRANDE - PB

2009

JOÃO BOSCO BURGOS COSTA

**CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS DE ROCHAS E
RENDIMENTOS DE CORTE COM FIO DIAMANTADO
NA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande para obtenção do Título de Mestre
em Engenharia de Minas.**

Área de Concentração:

Lavra de Minas

Orientador:

Prof. Aarão de Andrade Lima

CAMPINA GRANDE

2009



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

C837c

2009 Costa, João Bosco Burgos

Correlação entre características de rochas e rendimentos de corte com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais / João Bosco Burgos Costa.
- Campina Grande, 2009.
73 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Referências.

Orientador: Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima.

1. Rochas Ornamentais. 2. Granitos Ornamentais. 3. Tecnologias de Corte. 4. Fio Diamantado. 5. Lavra de Rochas Ornamentais. I. Título.

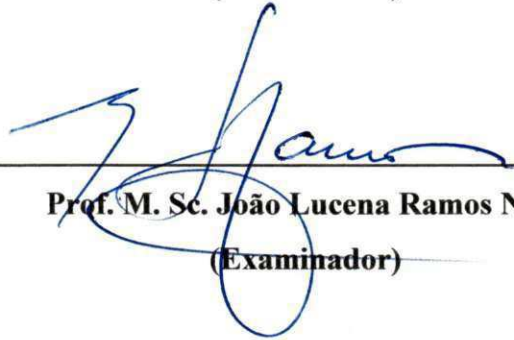
CDU 622.06(043)

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima
(Orientador)



Prof. Dr. Arlindo José Bazante
(Examinador)



Prof. M. Sc. João Lucena Ramos Neto
(Examinador)

Data da apresentação pública: 04 de dezembro de 2009.

Aos meus pais, César e Amélia e aos meus irmãos César Filho e Maria Carolina, dedico esse trabalho como forma de agradecer todo apoio, compreensão e amor em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus. Sem ele nada seria possível.

Ao Prof. Aarão de Andrade Lima, meu orientador, pela oportunidade dada, pela dedicação ao longo de todo trabalho e pelos ensinamentos que se prolongam ao longo da minha vida profissional.

Aos meus pais César e Amélia, exemplo de vida, fonte inesgotável de amor. Aos meus irmãos César Filho e Carol, pela amizade e apoio.

A todos os meus familiares pela demonstração de felicidade a cada nova conquista. A Clarissa, pelo carinho, atenção e paciência nos momentos mais difíceis. Aos meus inúmeros amigos, que sempre estão disponíveis para ajudar.

As empresas FUJI S.A e CAIMEX, que, através dos colegas e companheiros de profissão José Ferreira e Ricardo Vivas, deram suporte e apoio na coleta dos dados, fundamentais no desenvolvimento desse trabalho.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em especial aos professores da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, norteadores da minha formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro proporcionado pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico PADCT, através do projeto “Aplicação de Tecnologia para o Aproveitamento Racional de Rochas Ornamentais na Paraíba via Projeto Cooperativo envolvendo UFCG e UFRGS”. Edital MCT/CNPq/PADCT 2003, processo 620146/04.4.

RESUMO

Tradicionalmente a caracterização tecnológica de rochas ornamentais limita-se aos aspectos inerentes à utilização de produtos finais, sendo feita por motivação de natureza comercial. No entanto há espaço para associar estas características às operações de lavra, especificamente na utilização de fio diamantado. O presente trabalho trata-se de uma pesquisa sobre as correlações existentes entre características de rochas e rendimentos de corte com fio diamantado na extração de rochas ornamentais. O estudo se baseia no levantamento e análise de dados operacionais e de ensaios tecnológicos em rochas silicáticas de um grupo de rochas, extraídas em pedreiras do estado da Paraíba e Rio Grande do Norte. Os dados de campo correlacionados são os rendimentos de corte com fio diamantado, para este rendimento usa-se o parâmetro m^2/m , ou seja, metro quadrado cortado de rocha por metro linear de fio, em cortes até o desgaste máximo dos fios. Como características tecnológicas de rochas são analisadas e consideradas: 1) Análise petrográfica, para consideração de porcentagem de quartzo e média ponderada da dureza absoluta de minerais; 2) Resistência à compressão, que são obtidas indiretamente através de um equipamento de carga pontual (PIL-7); 3) Resistência à flexão; 4) Desgaste Amsler, para consideração da resistência a abrasão e 5) Dureza de superfície, obtido com o equipamento Schmidt hammer (esclerômetro). São então delineados os rendimentos de corte com base na variação das propriedades da rocha intacta. Para a construção do modelo foram considerados os fatores que apresentaram os melhores coeficientes de correlação. As variáveis independentes utilizadas foram a Dureza absoluta (Da) e Desgaste Amsler (Dam), que apresentaram coeficiente de correlação linear de -0,80 e 0,73 respectivamente. A variável dependente é o Rendimento de fio diamantado (Rf). Pode-se observar que foi possível obter um modelo, com bom coeficiente de correlação múltipla, $R = 0,9489$. O modelo proposto nessa pesquisa pode ser utilizado para predição do rendimento de corte com fio diamantado, tornando-se possível a partir de um estudo estatístico a previsão de investimentos com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais, sendo útil na prevenção de gastos desnecessários em pedreiras em atividade como também em pedreiras ainda inexploradas, além de tratar-se de um artifício considerado rápido e de baixo custo.

Palavras chave: rochas ornamentais, granitos ornamentais, tecnologias de corte, fio diamantado, lavra de rochas ornamentais.

ABSTRACT

Traditionally the characterization of ornamental rocks is limited to the aspects related to the use of final products. That type of characterization is made for commercial purposes. However, there it is possible to correlate those rock technological characteristics with quarry operations, especially regarding the utilization of diamond wire sawing. The present research addresses the correlations among rock properties and performance of diamond wire sawing, during the extinction of dimension stones. The study is based on a survey and analysis of operational data and technologic tests performed in a group of silicate rocks, from quarries located in Paraíba and Rio Grande do Norte states. The operational parameter used in the correlations is the yield, that is, number of square meters of rock cut per linear meter of diamond wire, up to the complete wear of the diamond wire. The technological characteristics of the analyzed rocks are the following: 1) Petrographic analysis, regarding the percentage of quartz and the weighted average of the absolute hardness. 2) Uniaxial compressive strength, obtained indirectly using a point load test (PLT) equipment. 3) Flexure strength, based on standard procedures for dimension stones. 4) Amsler abrasion testing, also based on standard procedures for dimension stones. 5) Surface hardness, obtained using a Schmidt hammer device. The yield of diamond wire cutting is outlined based on the magnitude of the rock technological characteristics. For building a predictive model the rock properties that showed the best correlations were selected. The independent variables used were absolute hardness (Da) and Amsler abrasion index (Dam), that showed linear correlation coefficients equal to -0,80 and 0,73, respectively. The dependent variable is the diamond wire yield (Rf). It has been observed that a model with multiple correlation showed a very good correlation coefficient, namely $R = 0,9489$. The model proposed in the present research may be used for predicting the yield of sawing operations using diamond wire. The proposed methodology, implemented by means of statistical studies, constitutes a useful tool for avoiding unnecessary expenditures in the development of new quarries as well as for quarries in operation. The proposed approach is considered a practical and low cost technique.

Key words: ornamental rocks, ornamental granite, rock cutting technologies, diamond wire sawing, ornamental rocks quarrying.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 2.1. Histórico..... | 2 |
| 2.2. Classificação das Rochas Ornamentais..... | 3 |
| 2.3. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais | 6 |
| 2.4.1. Metodologias de Lavra | 12 |
| 2.4.1.1. Lavra de Matacões | 13 |
| 2.4.1.2. Lavra de Maciços Rochosos | 15 |
| 2.4.2. Análise Estrutural..... | 17 |
| 2.4.2.1. Geometria Estrutural | 17 |
| 2.4.2.2. Descontinuidades | 18 |
| 2.4.2.3. Tensões Naturais e Induzidas..... | 20 |
| 2.5. Tecnologia de Corte “Fio Diamantado” | 20 |
| 2.5.1. Operações de Corte com Fio Diamantado..... | 23 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 27 |
| 3.1. Levantamento Bibliográfico..... | 27 |
| 3.2. Reconhecimento das Pedreiras | 27 |
| 3.3. Ensaio Tecnológicos | 28 |
| 3.3.1. Amostragem e Corpos-de-Prova | 28 |
| 3.3.2. Ensaio de Resistência à Compressão Indireta..... | 29 |
| 3.3.3. Ensaio de Dureza de Superfície | 33 |
| 3.4. Caracterização Tecnológica do Grupo de Rocha Estudado | 36 |
| 4. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS DE ROCHAS E RENDIMENTOS DE CORTE COM FIO DIAMANTADO | 45 |
| 4.1. Análise Estatística para Correlação | 47 |
| 4.2. Matriz de Correlação..... | 48 |
| 4.3. Correlações Qualitativas | 51 |
| 4.4. Modelo Empírico..... | 52 |
| 4.5. Ajuste do Modelo aos Dados Observados..... | 54 |
| 4.6. Validação e Simulação do Modelo..... | 54 |
| 4.7. Discussão dos Resultados | 57 |
| 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 61 |
| APÊNDICE I | 64 |
| APÊNDICE II | 73 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Observação de lâmina petrográfica em lupa estereoscópica. | 8 |
| Figura 2 – Detalhe de corpo-de-prova rompido por aplicação de esforços flexores. | 10 |
| Figura 3 – Detalhe de corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços. | 10 |
| Figura 4 – Máquina de desgaste abrasivo <i>Amsler</i> . | 11 |
| Figura 5 – Equipamento usado para ensaio de Dureza de Superfície. | 12 |
| Figura 6 - Lavra de matacões. | 15 |
| Figura 7 – Seções de corte na lavra, para liberação de prancha em maciço rochoso. | 16 |
| Figura 8 – Planos de corte. | 18 |
| Figura 9 - Fio diamantado, utilizado durante a pesquisa. | 21 |
| Figura 10 – Pérolas eletrodepositada (à esquerda) e sinterizada (à direita). | 22 |
| Figura 11 – Máquina de acionamento de fio diamantado com regulagem eletrônica. | 23 |
| Figura 12 – Corte horizontal em lavra de maciço rochoso. | 24 |
| Figura 13 – Corte vertical em lavra de maciço rochoso. | 24 |
| Figura 14 – Corte em “L” em lavra de maciço rochoso. | 24 |
| Figura 15 – Corte cego em lavra de maciço rochoso. | 25 |
| Figura 16 – Esquema para liberação de pranchas em lavra de maciço rochoso. | 25 |
| Figura 17 – Lavra de rocha ornamental com utilização de fio diamantado. | 27 |
| Figura 18 – Rendimentos de corte com fio diamantado apresentados nas rochas estudadas. | 28 |
| Figura 19 – Quadro de corpos-de-prova. | 29 |
| Figura 20 – Equipamento de carga pontual (PIL – 7). | 30 |
| Figura 21 – Dimensões para teste de bloco. | 30 |
| Figura 22 – Resultados dos ensaios indiretos de resistência à compressão. | 32 |
| Figura 23 – Aparelho portátil, martelo Schmidt. | 33 |
| Figura 24 – Ensaio realizado na superfície do bloco de rocha. | 33 |
| Figura 25 – Esquema simplificado do funcionamento do martelo Schmidt. | 34 |
| Figura 26 - Resultados dos ensaios de dureza de superfície. | 35 |
| Figura 27 – Amostra polida (Preto São Marcos). | 36 |
| Figura 28 – Amostra polida (Verde Brasil). | 37 |
| Figura 29 – Amostra polida (Gold Fuji). | 38 |
| Figura 30 – Amostra polida (Branco Fuji). | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 31 – Amostra polida (Bordeaux). | 40 |
| Figura 32 – Amostra polida (Verde Seridó). | 41 |
| Figura 33 – Amostra polida (Verde Umburana). | 42 |
| Figura 34 – Amostra polida (Macambira). | 43 |
| Figura 35 – Amostra polida (Verde Fuji) | 44 |
| Figura 36 – Ajuste do modelo aos dados observados para rendimento de fio diamantado. | 54 |
| Figura 37 – Amostra polida (Branco Imaculada). | 55 |
| Figura 38 – Amostra polida (Marrom Imperial). | 56 |
| Figura 39 – Resultados calculados e observados para rendimento de corte com fio diamantado. | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Classificação das Rochas Ornamentais | 5 |
| Tabela 2 - Normas Técnicas para Caracterização de Rochas Ornamentais | 7 |
| Tabela 3 - Escalas de Dureza Relativa e Absoluta de Minerais. | 8 |
| Tabela 4 - Durezas Consideradas para Correlação | 9 |
| Tabela 5 – Valores Utilizados para Correlação e Proposição de Modelo para Rendimento de Fio Diamantado | 46 |
| Tabela 6 - Matriz de Correlação para Grupo de Rocha Estudado | 50 |
| Tabela 7 - Correlações Qualitativas entre Rendimento e Variáveis Independentes | 51 |
| Tabela 8 - Parâmetros das Variáveis e Índices de Confiança | 53 |
| Tabela 9 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Preto São Marcos) | 64 |
| Tabela 10 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Verde Brasil) | 65 |
| Tabela 11 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Gold Fuji) | 66 |
| Tabela 12 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Branco Fuji) | 67 |
| Tabela 13 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Bordeaux) | 68 |
| Tabela 14 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Verde Seridó) | 69 |
| Tabela 15 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Verde Umburana) | 70 |
| Tabela 16 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Macambira) | 71 |
| Tabela 17 - Planilha de Cálculos para Resistência à Compressão (Verde Fuji) | 72 |
| Tabela 18 - Planilha de Cálculos para Dureza de Superfície das Rochas Estudadas | 73 |

1. INTRODUÇÃO

Uma parcela significativa dos custos de extração de rochas ornamentais está associada às diversas operações de partição do maciço rochoso, desde os cortes primários para a abertura das faces livres, até o esquadrejamento para a obtenção de blocos nos tamanhos comerciais padronizados. Dentre as tecnologias de corte mais utilizadas e difundidas nos últimos anos na lavra de rochas ornamentais está a tecnologia do fio diamantado, sendo a tecnologia que mais ganhou espaço nas pedreiras de maciço rochoso, por apresentar maior produtividade como também por proporcionar uma técnica segura e não poluidora.

Tradicionalmente a caracterização tecnológica de rochas ornamentais limita-se aos aspectos inerentes à utilização de produtos finais, sendo feita por motivação de natureza comercial. No entanto há espaço para associar estas características às operações de lavra, especificamente na utilização de fio diamantado.

O objetivo principal da pesquisa é mostrar a correlação existente entre características de rochas e rendimentos de corte com fio diamantado na extração de rochas ornamentais, tornado-se possível a partir de um estudo estatístico a previsão de rendimentos de corte para jazidas ainda inexploradas.

O estudo se baseia no levantamento e análise de dados operacionais e de ensaios de laboratório em rochas silicáticas de um grupo de rochas, extraídas em pedreiras do estado da Paraíba e Rio Grande do Norte. Os dados de campo correlacionados são os rendimentos de corte com fio diamantado, da marca Solga Diamant, para este rendimento usa-se o parâmetro m^2/m , ou seja, metro quadrado cortado de rocha por metro linear de fio, em cortes até o desgaste máximo dos fios. Como características tecnológicas de rochas são analisadas e consideradas as seguintes propriedades: 1) Análise petrográfica, para consideração de porcentagem de quartzo e média ponderada da dureza absoluta de minerais; 2) Resistência à compressão, que são obtidas indiretamente através de um equipamento de carga pontual (PIL-7); 3) Resistência à flexão; 4) Desgaste Amsler, para consideração da resistência a abrasão e 5) Dureza de superfície, obtido com o equipamento Schmidt hammer (esclerômetro). São então delineados os rendimentos de corte com base na variação das propriedades da rocha intacta.

O tema estudado referente à lavra de rochas ornamentais, é de importância regional e nacional, consistindo na abordagem de um problema de interesse prático para a mineração,

dando assim suporte para a definição de processos tecnicamente embasados para o aproveitamento racional de rochas ornamentais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico

A rocha vem sendo utilizada pelo homem para diversos fins desde a era paleolítica (500.000 a.C.). As construções erguidas ao longo do tempo têm colocado a rocha como material imediato de trabalho. Estas rochas registram passagens em muitas civilizações, sendo perpetuadas na história, motivo pelo qual tornou-se de importância fundamental para a sobrevivência humana (MATTA, 2003).

A civilização egípcia iniciou sua extração por volta de 2000 a.C., quando expedições permitiram a descoberta de rochas existentes na região, marcando o início de uma importante etapa da extração dessas rochas. Os blocos eram lavrados das pedreiras com dimensões irregulares devido à falta de tecnologia de corte adequada, gerando uma grande quantidade de material lavrado sem utilização. Na Grécia, as técnicas de extração utilizadas são desconhecidas, mas pela perfeição de suas obras alcançaram um alto grau de refinamento e especialização. Na Itália, mais precisamente em Roma, foi utilizado inicialmente o tipo de mármore conhecido como travertino, que era encontrado próximo a cidade, passando a ser extraído das montanhas Apuanas em aproximadamente 180 a.C., tendo a cidade de Carrara como centro principal. A utilização de pedras no Brasil iniciou-se no período colonial, quando foram construídas instalações militares portuguesas, com o objetivo de defender o litoral e as cidades que serviam à administração de colônia (Salvador, Olinda, São Paulo, Rio de Janeiro, Ouro Preto). Estes conjuntos arquitetônicos constituem patrimônios valiosos deixados pelos mestres de cantaria, marcando época na arquitetura brasileira (REIS, 2001).

No ano de 80 a.C., na Itália, começou a evolução mundial da indústria extrativa das rochas ornamentais, através dos séculos. Primeiramente os blocos eram extraídos através da introdução de cunhas de madeira nas fissuras do corpo rochoso e a seguir encharcado com água que, dilatando-se, dividiam em pedaços de pedra. A mudança dos métodos de extração de blocos foi iniciada com explosivos no século XVI. No início do século XX, a Itália passou a usar fio helicoidal como tecnologia de lavra para o corte dos blocos de mármore. A partir

de 1977 foi introduzida na região de Carrara, na Itália, a tecnologia de cortador à corrente diamantada e do fio diamantado. No espaço de 10 anos registra-se uma rápida evolução, na região de Sardenha, Itália, sendo introduzida no final da década de 80, a tecnologia de fio diamantado para granitos (VIDAL, 2001).

Para CARVALHO (2007) se no passado a utilização das rochas teve essencialmente uma função de estruturação das edificações, desde as primeiras habitações e fortificações feitas em pedra pelo homem até palácios e outros monumentos bem mais recentes, a realidade mostra que nos dias de hoje a pedra perdeu essa função para o ferro, para o tijolo, para a argamassa em revestimento e para outros produtos de substituição. Atualmente usam-se as pedras fundamentalmente em função das suas potencialidades decorativas, ornamentais. As capacidades estruturantes que lhes estão associadas são aproveitadas apenas pontualmente ou de modo secundário.

Em decorrência do crescimento do emprego das rochas ornamentais e de revestimento e das exigências em termos de qualidade e garantias de fornecimento, com prazos bem determinados, as empresas foram forçadas a elevar seus níveis produtivos e melhorar a qualidade do produto, investindo na evolução tecnológica e da indústria.

Atualmente dentre os métodos de tecnologia avançada adotados para a lavra, no maciço rochoso, destacam-se a argamassa expansiva e principalmente a tecnologia de fio diamantado, que pouco a pouco substituem métodos tradicionais de corte como: explosivos, jet flame, perfuração contínua, fio helicoidal, perfuração contínua, cunhas, entre outros. A tecnologia do fio diamantado representa uma solução moderna, permitindo melhorar a qualidade do produto final, melhor geometria do corte, menor intensidade do nível do ruído, vibração e poeira, elevando os níveis de produtividade e competitividade. Vale salientar que o conhecimento prévio das características de uma determinada formação rochosa bem como uma boa operação da tecnologia de corte representa condições indispensáveis para um pleno desenvolvimento de uma operação de lavra.

2.2. Classificação das Rochas Ornamentais

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as rochas ornamentais constituem um material rochoso natural, submetido a diferentes graus de aperfeiçoamento (apicoado, frameado, polido e recortado) e utilizado para exercer uma função estética.

De acordo com MENDES, VIDAL (2002) em termos de classificação as rochas ornamentais e de revestimento dividem-se em duas categorias comerciais: granitos e mármore. Tais termos não são geologicamente corretos, porém estão consagrados na indústria das rochas ornamentais. A primeira engloba a família das rochas silicáticas, incluindo os tipos ígneos: ácidos, intermediários e básicos, tanto de origem plutônica, quanto sub-vulcânicas a vulcânicas. Ainda associados ao primeiro tipo, têm-se as rochas metamórficas e as sedimentares com diagênese alta, litologicamente representados comercialmente por quartzitos, arenitos, conglomerados e as rochas migmatíticas, intensamente dobradas, geralmente de estrutura nebulítica, e cores variadas. A segunda família acha-se representada por mármore tanto de origem sedimentar, quanto metamórfica. As rochas comercialmente designadas por mármore englobam as rochas carbonatadas, incluindo calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos (os mármore, propriamente ditos). Os calcários são rochas sedimentares compostos principalmente de calcita (carbonato de cálcio), enquanto os dolomitos são rochas também sedimentares formados, sobretudo por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio).

Existem ainda as pedras naturais. Esta denominação é empregada pelo mercado para as rochas geralmente utilizadas em placas e/ou lajotas, não polidas, como as ardósias, os calcários, os gnaisses milomitizados e os quartzitos foliados, utilizados *in natura*.

Verifica-se que a utilização de uma rocha para fins ornamentais está inteiramente relacionada a fatores geológicos, representados pela: cor, textura, homogeneidade, nível de deformação a que foi submetido o corpo rochoso e as suas propriedades químico-mineralógica e físico-mecânicas. Tais parâmetros no final condicionarão os usos mais específicos da rocha, no tocante ao seu emprego como revestimento, pois em função do ambiente a que forem submetidas responderá pela sua durabilidade, frente à ação do intemperismo, abrasão, dilatação térmica linear e resistência à compressão e à flexão. Portanto as interações destes fatores, com o local de aplicação da rocha, definirão o seu bom desempenho em serviço (MENDES, VIDAL, 2002).

Segundo LOMBADEIRO, REGUEIRO (1992) apud REIS (2001), uma correlação preliminar entre a classificação científica e outros termos comerciais mais utilizados mostra o grande número de rochas de gênese e composição diferentes que estão agrupados sob uma determinada classificação comercial. A tabela 1 ilustra essa classificação genética das rochas ornamentais.

Tabela 1 - Classificação das Rochas Ornamentais

| | Classificação Comercial | Composição | Classificação Científica |
|----------------------|--------------------------------|--|--|
| GRANITOS | Granito-granitóide | Granito, Granodiorito, Sienito, etc. (ígneas plutônicas) | Rochas Silicáticas |
| | Granito Preto | Gabro, Diorito, Monzonito, Peridotito (ígneas plutônicas) | |
| | Basalto | Basalto, Andesito (vulcânica) | |
| MÁRMORES | Calcário | Calcário, Mármore calcário (sedimentares) | Rochas Carbonáticas |
| | Mármore | Calcário, Mármore dolomítico (metamórficas) | |
| | Travertino | Travertino (sedimentar) | |
| OUTRAS ROCHAS | Arenito, Quartzito | Outras rochas | Arenito(sedimentar) Quartzito (metamórfica) |

Fonte: Modificado por GIACONI (1998)

O padrão cromático é o principal atributo considerado para a qualificação de uma rocha ornamental. Em função dessa característica, CHIODI FILHO (1998) apud REIS (2001) classificou os materiais como clássicos, comuns ou excepcionais. Os materiais clássicos não sofrem influência do modismo, incluindo os mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, bem como os granitos negros e vermelhos. Os materiais comuns de alto emprego em obras de revestimento incluem os mármore bege e acinzentados, além dos granitos acinzentados, rosados e amarronzados. Os materiais excepcionais são, normalmente,

utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, abrangendo os mármore azuis, violetas e verdes, além dos granitos azuis, amarelos e multicolores.

2.3. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais possuem propriedades que servem para diferenciar uma rocha de outra, dando assim uma utilização mais adequada às suas características, tornando-se fundamentais para a utilização correta e econômica. A maior parte dessas características é de grande importância para avaliar a resistência mecânica das rochas nas obras onde serão empregadas.

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

Quando em uso, as rochas ornamentais, ou de revestimento, são submetidos às mais variadas solicitações, tais como atrito ou desgaste, impacto, ação de intempéries, ataque por produtos de limpeza, líquidos agressivos em geral. A necessidade de uma caracterização tecnológica (petrográfica, física, e físico-mecânica) das rochas torna-se fundamental para uma correta, segura e econômica utilização (REIS, 2001).

Um bom conhecimento das propriedades da rocha é fundamental para qualidade do material a ser empregado, uma vez que se considera como um produto de alta qualidade o material que mantiver suas características ao longo do tempo, de modo a desempenhar a sua finalidade.

As características tecnológicas das rochas para fins ornamentais podem ser determinadas através da execução de ensaios, que através dos mesmos são conhecidas as peculiaridades desses materiais. No Brasil, as normas existentes são baseadas nas normas americanas, principalmente as da ASTM (American Standard of Testing and Materials). Todavia, as normas européias (EN) tendem cada vez mais a ser a referência mais aceita, por serem as mais completas e pelas exigências do mercado internacional.

Algumas normas já existentes e padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) indicam valores padrão para alguns ensaios, como também existem algumas sugestões do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) para esses valores (REGADAS, 2006).

Na tabela 2 são apresentados os principais ensaios para caracterização tecnológica de rochas ornamentais.

Tabela 2 - Normas Técnicas para Caracterização de Rochas Ornamentais

| ENSAIO | NORMA |
|--|----------------|
| Análise petrográfica | ABNT NBR 12768 |
| Índices físicos | ABNT NBR 12766 |
| Resistência à flexão | ABNT NBR 12763 |
| Resistência ao impacto do corpo duro | ABNT NBR 12764 |
| Resistência à compressão | ABNT NBR 12667 |
| Coefficiente de dilatação térmica linear | ABNT NBR 12765 |
| Congelamento e degelo conjugado à compressão | ABNT NBR 12769 |
| Desgaste amsler | ABNT NBR 6481 |
| Módulo de deformabilidade estática | ASTM D-3146 |
| Micro dureza Knoop | EN 14205 |

Os ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais tradicionalmente limitam-se aos aspectos inerentes à utilização de produtos finais, sendo feita por motivação de natureza comercial. No entanto nessa pesquisa, através de um estudo estatístico, foram utilizados índices de alguns desses ensaios, desenvolvidos em um grupo de rochas silicáticas, extraídos de pedreiras da Paraíba e Rio Grande do Norte, com o intuito de associar as características das mesmas às operações de lavra, especificamente na utilização de fio diamantado. Os ensaios correlacionados com os rendimentos de corte com fio diamantado foram os seguintes:

- **Análise Petrográfica**

Fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética.

A análise petrográfica (Figura 1) fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida (FRASCÁ, 2002).



Figura 1 – Observação de lâmina petrográfica em lupa estereoscópica.

➤ ***Dureza Absoluta dos Minerais***

Segundo GODOY (2005) a dureza de um mineral é a resistência que sua superfície lisa oferece ao ser riscado. Como as outras propriedades físicas dos minerais, a dureza depende da estrutura do cristal. Quanto mais intensas as forças de união entre átomos, tanto mais duro o mineral. O grau de dureza é determinado, observando-se a facilidade ou dificuldade relativa com que um mineral é riscado por outro. Pode dizer-se então que a dureza de um mineral é a sua resistência ao risco.

Escolheu-se uma série de dez minerais comuns (Escala de Mohs) para servir com escala, podendo ser determinada a dureza relativa de qualquer mineral mediante comparação com os minerais da escala. Porém para uma correlação, a Escala de Mohs pode não ser bem representativa, pois é composta de valores relativos, diferentemente da apresentada para a dureza absoluta dos mesmos minerais, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Escalas de Dureza Relativa e Absoluta de Minerais

| DUREZA RELATIVA (ESCALA DE MOHS) | | | DUREZA ABSOLUTA |
|----------------------------------|------------|--|-----------------|
| 1 | Talco | Risca-se facilmente com a unha | 0,03 |
| 2 | Gipsita | Risca-se ligeiramente com a unha | 1,25 |
| 3 | Calcita | Risca-se facilmente com uma moeda de cobre | 4,5 |
| 4 | Fluorita | Risca-se facilmente com a navalha | 5 |
| 5 | Apatita | Não se risca ligeiramente com a navalha | 6,5 |
| 6 | Ortoclásio | Risca-se com uma lima de aço | 37 |
| 7 | Quartzo | Risca o vidro | 120 |
| 8 | Topázio | Risca ligeiramente o quartzo | 175 |
| 9 | Corindon | Risca ligeiramente o topázio | 1.000 |
| 10 | Diamante | Não é riscado pelos outros minerais | 140.000 |

Fonte: GODOY (2005)

Para essa dissertação, a análise petrográfica para conhecimento da composição mineralógica das rochas teve fundamental importância, pois a partir dela pôde-se quantificar a porcentagem do mineral quartzo, como também pôde-se obter uma aproximação da dureza absoluta das rochas estudadas, através de uma média ponderada as durezas absolutas dos minerais constituintes de cada uma das rochas. Para efeito de cálculo das durezas das rochas foram consideradas as durezas apresentadas na Tabela 4:

Tabela 4 – Durezas Consideradas para Correlação

| Mineral | Dureza Relativa | Dureza Absoluta |
|----------------|------------------------|------------------------|
| Clorita | 2 | 1,25 |
| Biotita | 2,5 | 2,87 |
| Muscovita | 2,5 | 2,87 |
| Calcita | 3 | 4,5 |
| Augita | 5,5 | 21,75 |
| Piroxênio | 5,5 | 21,75 |
| Titanita | 5,5 | 21,75 |
| Ortoclasio | 6 | 37 |
| Plagioclasio | 6 | 37 |
| Microclina | 6 | 37 |
| Anfibolio | 6 | 37 |
| Antipertita | 6 | 37 |
| Mirmequita | 6 | 37 |
| Diopsídio | 6 | 37 |
| Epidoto | 6,5 | 78,5 |
| Quartzo | 7 | 120 |
| Granada | 7,5 | 147,5 |

○ **Resistência à Flexão**

O ensaio de tração na flexão (ou flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura) determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores (Figura 2). Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração (FRASCÁ, 2002).



Figura 2 – Detalhe de corpo-de-prova rompido por aplicação de esforços flexores.

○ **Resistência à Compressão**

Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. (Figura 3). Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (FRASCÁ, 2002).



Figura 3 – Detalhe de corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços.

Os valores dos resultados de resistência à compressão analisados estatisticamente na correlação com rendimento de corte com fio diamantado foram obtidos indiretamente através de um equipamento de carga pontual (PIL-7), que estão descritos no item 3.3.2 dessa dissertação.

- **Desgaste Amsler**

Indica a redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, na máquina Amsler, ilustrado na Figura 4.

O abrasivo utilizado é areia essencialmente quartzosa. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos (FRASCÁ, 2002).

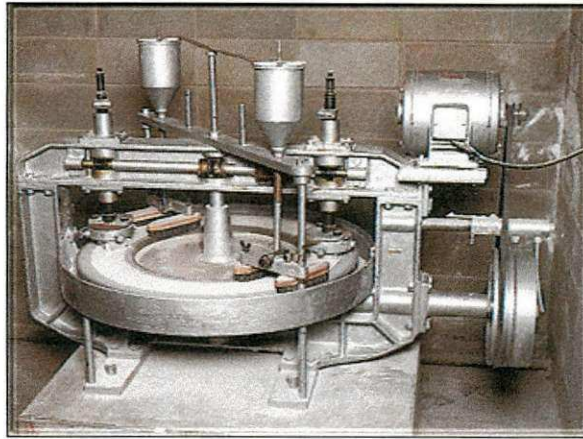


Figura 4 – Máquina de Desgaste abrasivo *Amsler*.

- **Dureza de Superfície**

Esse ensaio é utilizado para medir a dureza superficial e resistência à penetração de uma determinada amostra, podendo ser correlacionada com a resistência à compressão. Ele simplesmente dá uma indicação em escala arbitrária que variam de 10 a 100, baseada em propriedades de superfície, sendo adequado para fazer comparações entre amostras.

O ensaio para obtenção do índice de dureza de superfície seguiu as recomendações do manual técnico do equipamento esclerômetro (martelo Schmidt), ilustrado na Figura 5.

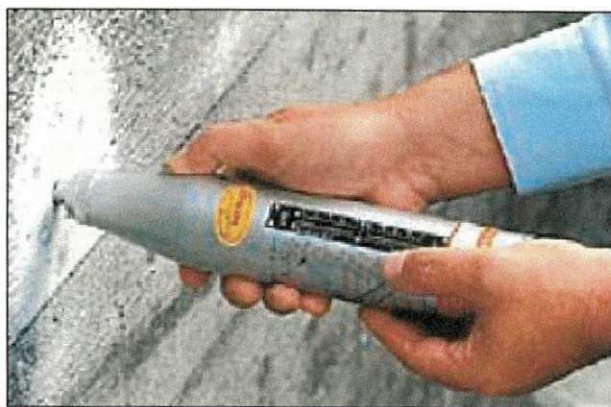


Figura 5 – Equipamento usado para ensaio de Dureza de Superfície.

➤ **Lavra de Rochas Ornamentais**

A finalidade da lavra de rochas ornamentais é de se extrair blocos com arestas retangulares, de dimensões variadas, devendo obedecer às capacidades produtivas dos equipamentos utilizados nas etapas de beneficiamento (teares ou talha-blocos), às dimensões ditadas pelo mercado, ou ainda às dimensões buscando o aproveitamento ótimo das reservas existentes.

A extração de rochas ornamentais apresenta características distintas da lavra de outros bens minerais, nelas a integridade da rocha em todos os aspectos, apresenta-se como fator condicionante. A presença de fraturas (juntas e falhas), inclusões, alterações mineralógicas e outros defeitos, constituem aspectos decisivos sobre o valor comercial de um bloco ou chapa da rocha (KALVELAGE, 2001).

O dimensionamento completo dos equipamentos e instalações, cálculo de custos de todas as etapas, seqüência de atividades, etc. são fundamentais na fase de planejamento da lavra de rochas ornamentais.

2.4.1. Metodologias de Lavra

A escolha do método é função da morfologia dos afloramentos, do volume da reserva mineral, das características estruturais da jazida, inclusive do seu estado de fraturamento, da localização geográfica da área e das características intrínsecas do material objeto de lavra.

Podemos dividir os sistemas de lavra de rochas ornamentais em dois tipos, a lavra de matacões e a lavra de maciços rochosos. No caso dos matacões encontra-se uma maior facilidade para lavar e apresenta um menor custo operacional, via de regra é inicialmente escolhida pelos empreendedores, apesar da dificuldade de reprodutibilidade da qualidade do material e provocar um maior impacto ambiental. A segunda forma de exploração, maciço rochoso, apresenta uma maior produtividade, requer uma maior inserção de tecnologia e mão de obra especializada, no entanto podem trazer mais marcantemente os traços das tensões residuais de alívio a partir de criação de faces livres no maciço.

2.4.1.1. Lavra de Matacões

Segundo MATTA (2003) os matacões são corpos arredondados, que se desprendem dos maciços rochosos, por efeito do desgaste erosivo físico, químico e biológico ocorrido durante a passagem dos longos períodos da escala geológica. Esses corpos sofrem algum deslocamento ou não na superfície. Os mármore e rochas carbonatadas não passam pelo principal processo erosivo de formação dos matacões, conhecido como esfoliação esferoidal, quando a rocha sofre um processo gradativo de esfoliação das suas partes mais externas como se fosse uma “cebola descascando”.

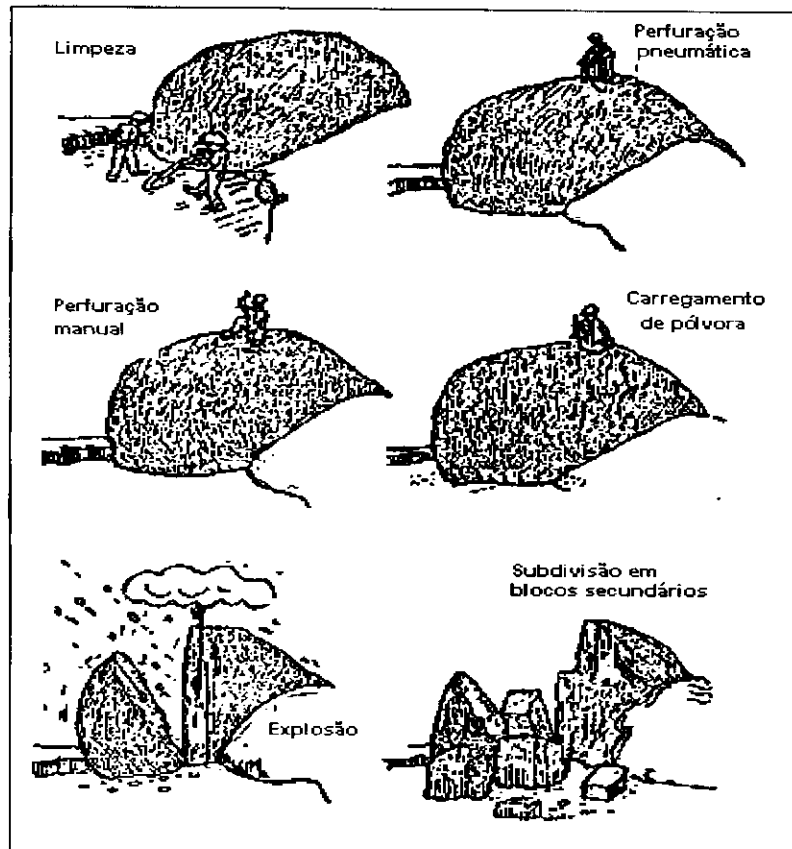
O método, ilustrado na Figura 6, é bastante simples, exigindo pouco investimento inicial em equipamentos para o desenvolvimento da pedreira, podendo ser operado com mão de obra pouco especializada.

CICCU, VIDAL (1998), complementam afirmando que a lavra de matacões pode ter menor custo de produção em relação à lavra de maciço rochoso, principalmente em pedreiras com pequenas escalas de produção, porém tendo fortes restrições quanto à quantidade, qualidade e uniformidade do material. É importante observar que parte importante da produção brasileira de granito é ainda derivada de lavra de matacões.

A lavra de matacões resulta em grande impacto paisagístico e danos consideráveis ao meio ambiente.

Para se proceder ao desmonte dos matacões, é adotada, em geral, a seguinte seqüência de trabalhos: 1) *limpeza da área*, que consiste na remoção de vegetação e terra que envolve o matacão e preparação da praça para receber o bloco; 2) *demarcação dos furos*, após a definição dos planos de fraqueza da rocha; 3) *furação e raiação*, a furação pode ser manual ou

com martetele pneumático, faz-se inicialmente apenas um furo na direção do primeiro plano (“corrida”), se a furação for manual, utiliza-se um ponteiro, que penetrará na rocha por pancadas com uma marreta, enquanto se dá uma rotação, adicionado-se água para facilitar a penetração até uma profundidade que varia de 1/3 à metade da altura do matacão. A seguir procede-se a raição, que consiste em transformar o orifício circular em oval, com o auxílio de uma broca com ponta achatada, fornecendo assim o sentido que se espera obter no desmonte, os furos necessitam estar alinhado; 4) *desmonte*, a carga de pólvora negra preenche cerca de 30% do volume do furo, o estopim é colocado em cerca da metade da carga, em seguida sobrepõe-se o tampão, que no caso é terra socada; 5) *esquadrejamento*, cuida em tornar o bloco o mais regular possível para aproximá-lo ao tamanho especificado pelo mercado, para se adequar às dimensões dos teares; 6) *desbaste*, consiste em eliminar as protuberâncias do bloco, utilizando-se de ponteiro e marreta, é a regularização ou retificação das superfícies do bloco; 7) *embarque*, o embarque dos blocos pode ser manual ou mecanizado, o processo manual consiste em fazer rolar o bloco para o caminhão através de roletes, o mecanizado é efetuado por arraste com trator ou através de guincho; 8) *transporte*, o bloco a ser transportado pode ter dois destinos: serraria ou porto, podendo ser rodoviário (mais usada) ou ferroviário, o segundo é considerado mais vantajoso mas o Brasil não dispõe de uma boa infra-estrutura na maioria das regiões brasileiras. (FRAZÃO, 2002).



Fonte: STELLIN, CARANASSIOS (1991)

Figura 6 - Lavra de matacões

2.4.1.2. Lavra de Maciços Rochosos

De acordo com MATTA (2003) os maciços rochosos representam grandes massas de rochas derivadas da consolidação dos magmas que se resfriam no tempo geológico e emergiram na superfície graças principalmente à erosão. No caso das rochas sedimentares esses maciços surgem dos grandes depósitos de sedimentos que passaram por processos diagenéticos (compactação, cimentação, solução diferencial, autigênese, metassomatismo) e após, afloraram à superfície sob as ações da erosão. Os maciços originários das rochas metamórficas passaram pelo mesmo processo erosivo das duas anteriormente, aflorando a massa rochosa que foi submetida às altas temperaturas e pressões no interior da crosta.

A lavra de maciços rochosos proporciona um melhor controle de qualidade e melhores taxas de recuperação das rochas. Esse sistema de lavra obedece a uma determinada seqüência lógica e hierárquica, na qual são extraídos volumes de grandes dimensões, em forma de paralelepípedos, chamados de pranchas. As pranchas são subdivididas sucessivamente através

de novos cortes, efetuados nas operações de esquadrejamento, obtendo-se assim os blocos de rochas com dimensões comerciais. A extração em maciços rochosos possibilita um avanço planejado e o uso de tecnologias avançadas, reduzidos custos de produção quando bem executadas.

Os principais métodos de lavra utilizados para extrair blocos de rochas em maciços, são os seguintes: lavra por bancadas (altas ou baixas), lavra por painéis verticais, lavra por desmoronamento, lavra em fossa ou poço, lavra subterrânea. MATTA (2003), VIDAL (1995, 1999) apresentam detalhes sobre métodos de lavra aplicáveis a rochas ornamentais.

Os tipos de corte existentes na lavra de rochas ornamentais em maciço rochoso com fio diamantado podem ser classificados como: cortes horizontais (levante) e cortes verticais (transversais e longitudinais). Na Figura 7 estão ilustradas as seções de corte que são normalmente encontradas na liberação de pranchas na lavra de rochas ornamental em maciços rochosos. Alguns destes podem ser evitados na medida em que são aproveitadas descontinuidades (fraturas) existentes no maciço rochoso.

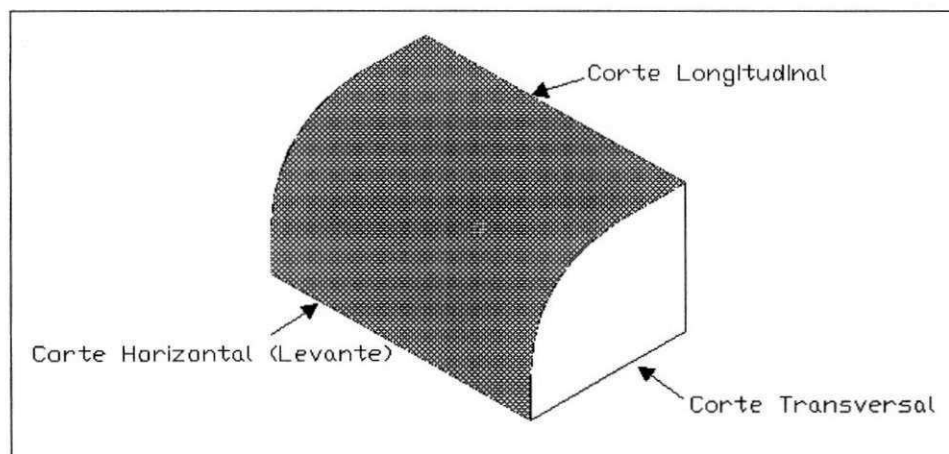


Figura 7 – Seções de corte na lavra, para liberação de prancha em maciço rochoso.

Em função de sua grande flexibilidade e versatilidade, o fio diamantado pode realizar metodologias diferentes para realização das seções de corte já referidas, dependendo das condições de espaço e da morfologia da jazida explorada. No item 2.5.1 serão detalhadas as operações de cortes com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais em maciço rochoso.

2.4.2. Análise Estrutural

O conhecimento das características estruturais em rochas ornamentais, como: geometria estrutural, descontinuidades e tensões naturais e induzidas em maciços rochosos, quando aliados aos conhecimentos de características de amostras intactas como: petrográficas, propriedades físicas e físico-mecânicas, permitem uma melhor previsão do comportamento da lavra em uma jazida que irá ser explorada. Muitos fracassos observados em pedreiras de rochas ornamentais ocorrem pela falta de preocupação com as características estruturais das rochas, inviabilizando muitos projetos de mineração, que poderiam ter sido evitados através de um estudo prévio das características da rocha. Os bons conhecimentos destas características podem, também, além de evitar insucessos promover uma maior recuperação e otimização das operações de lavra na partição dos blocos extraídos.

GIORGIO et al. (2003) destacam que levantamento geológico e análise estrutural não são suficientes para superar as dificuldades na determinação da geometria estrutural dos blocos comerciais durante o planejamento de lavra. Além de uma análise estrutural consistente, para aumentar sensivelmente as chances de sucesso do planejamento da lavra são necessários: acompanhamento topográfico adequado à escala de trabalho, modelagem tridimensional do maciço rochoso e das estruturas baseadas na utilização de técnicas geofísicas e geoestatísticas.

2.4.2.1. Geometria Estrutural

Grande parte dos custos de extração de rochas ornamentais está associada às diversas operações de partição de maciços ou matacões. A partir da fase de desenvolvimento da pedreira, onde são executados os cortes primários para abertura de faces livres, para liberação de frente em rocha decomposta, alterada ou fora de padrão, até o esquadrejamento pra obtenção de blocos nos tamanhos comerciais padronizado, que normalmente possuem as dimensões 1,50 m x 1,80 m x 3,00 m.

O estudo da geometria estrutural para definição do “bloco de partição” e melhor escolha das superfícies (corrida, segundo e trincante) são de fundamental importância entre as fases da lavra de rochas ornamentais, já que essas identificações dos planos de fraquezas naturais do corpo rochoso evitaram esforços físicos excessivos dos trabalhadores, diminuição

e atraso da produção, comprometimento da qualidade das superfícies cortadas, custo de perfuração, etc.

Seguindo esse raciocínio, existem direções de maior facilidade de corte, como nas superfícies cortantes (corrida e segundo) que acompanham o sentido do estiramento estrutural da rocha como foliações (xistosidades, bandamentos), lineações. No caso de depósitos que apresentam descontinuidades físicas como fraturas, os cortes deverão ser efetuados paralelamente a essas descontinuidades.

O plano de maior fraqueza é denominado de “corrida”, o qual coincide com planos de leve anisotropia mineralógica, é por onde preferencialmente se inicia o desmonte. O plano de fraqueza intermediária situa-se perpendicularmente à “corrida” e é denominado “segundo”. Um terceiro plano, que possui a quebra um pouco mais dificultada, situa-se perpendicularmente aos anteriormente mencionados e é denominado “trincante”.

MELO, OLIVEIRA (2002) definem o “bloco de partição” como superfícies: alongante, levantante e trincante, ilustrados na Figura 8.

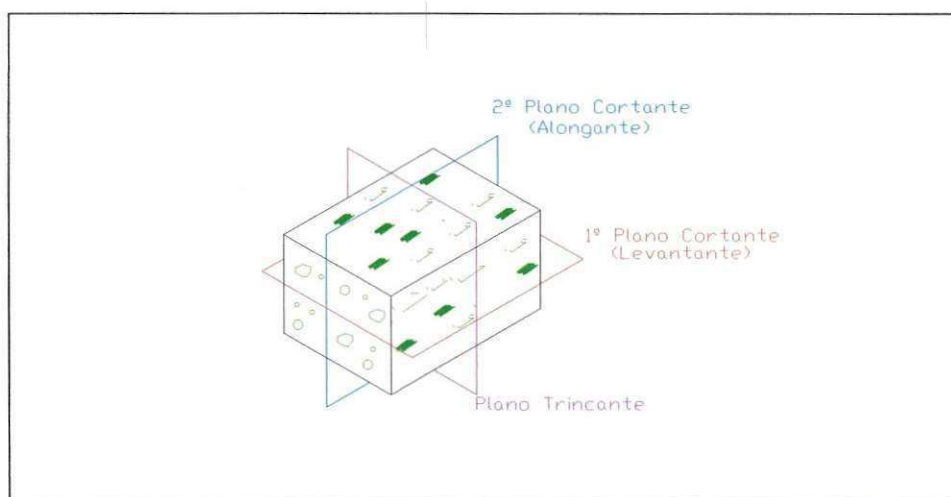


Figura 8 – Planos de corte.

2.4.2.2. Descontinuidades

Segundo LIMA (2007) a presença excessiva ou a ausência, de fraturas, constitui possivelmente o maior obstáculo à extração eficiente de rochas ornamentais. Trabalhos de mapeamento geológico e geotécnico são fundamentais para um bom planejamento de lavra,

fornecendo uma visão geral da compartimentação dos maciços. Os tipos de descontinuidades naturais mais importantes são as seguintes:

Foliação – são feições com espaçamento denso, que se originam no estado plástico ou semi-plástico de formação dos maciços. Essas feições são de natureza penetrativa, e às vezes apresentam baixa coesão, e nesse caso podem evoluir para formar planos de partição, nocivos ao aproveitamento das rochas ornamentais destinadas ao processo de serragem em teares. Nas rochas gnáissicas a foliação é também um elemento importante na definição dos planos de corte dos blocos, sendo fator determinante dos elementos estéticos e tecnológicos da rocha beneficiada.

Falhas – consistem na fraturas causadas por esforços de natureza tectônica, em regime friável, onde ocorre movimento tangencial entre as faces das descontinuidades. Do ponto de vista da extração de rochas ornamentais, as falhas são mais danosas quando afetam zonas espessas do maciço, vindo a constituir as zonas de falha. Quando as falhas ficam localizadas em bandas estreitas, a movimentação tangencial é intensa, e podem surgir os milonitos, cujas características petrológicas diferem sobremaneira das rochas que os originam.

Juntas – são fraturas originadas de esforços tectônicos, sem que ocorra movimentação tangencial entre as faces das descontinuidades. A presença abundante de juntas é determinante para a inviabilidade da extração de blocos de granitos ornamentais.

Fraturas de alívio – também denominadas de acebolamento resultam da expansão lateral das partes superiores dos batólitos, durante o processo de denudação que se processa no tempo geológico. A delimitação da superfície das fraturas de alívio é importante para o planejamento global das pedreiras, como altura das bancadas, e métodos de corte. Essas superfícies podem ser utilizadas com vantagem na lavra, evitando a necessidade dos cortes horizontais para liberação das pranchas, que constituem operações onerosas e de difícil execução.

As descontinuidades são decisivas para a viabilidade da lavra, e geralmente formam um complexo sistema, cujo impacto na recuperação da lavra é de difícil avaliação.

Algumas vezes as descontinuidades encontram-se fechadas até o início da abertura da pedreira, ocasião em que o alívio do estado compressivo no maciço possibilita o surgimento pleno das descontinuidades. O fenômeno pode também estar conjugado com a propagação de

novas fraturas devido ao estado de tensões excessivas presentes no maciço, conforme será mais detalhado no item seguinte, correspondente a esse tema (LIMA, 2007).

2.4.2.3. Tensões Naturais e Induzidas

LIMA (2007) descrevem que tem sido observado que muitos corpos graníticos com baixa fissuração apresentam componentes de tensões (naturais) horizontais elevadas. Esse fenômeno é constatado durante a extração de rochas ornamentais pela prisão de brocas e de fios diamantados. A redistribuição de tensões (induzidas) no maciço em decorrência das escavações efetuadas durante a lavra pode causar a propagação de fraturas em bancadas ou pranchas, comprometendo a recuperação da reserva.

A existência de estado de tensões iniciais elevadas em maciços íntegros é explicada pela formação profunda dessas rochas. Com a denudação ocorrida durante o tempo geológico, as componentes verticais são aliviadas, mas uma parcela das componentes horizontais permanece sem liberação na rocha. Parte dessas tensões é aliviada por deformações de natureza visco-plástica, e parte atenuada com a formação de fraturas.

LIMA (2007) destacam que em alguns casos críticos, as tensões iniciais elevadas podem impedir a lavra como empreendimento econômico. Algumas vezes as manifestações de tensões elevadas surgem nas fases iniciais de aberturas das pedreiras, e tornam-se reduzidas com alívio do maciço.

Do ponto de vista prático, a medição de tensões iniciais no maciço não é tarefa simples, são necessários equipamentos sofisticados, bem como pessoal especializado.

2.5. Tecnologia de Corte “Fio Diamantado”

Dentre as tecnologias de corte mais utilizadas e difundidas nos últimos anos na lavra de rochas ornamentais está a tecnologia de fio diamantado. Trata-se de uma tecnologia já consagrada na lavra de rochas ornamentais, sendo a que mais ganhou e vem ganhando espaço nas pedreiras de maciço rochoso, pelo fato de apresentar maior produtividade como também por proporcionar uma técnica segura e não poluidora. Em virtude dos bons resultados

apresentados nas lavras de pedreiras, de maior porte, de rochas ornamentais, as demais tecnologias diminuíram largamente suas utilizações.

TAVARES (2006) apresenta e detalha as demais tecnologias de corte utilizada nas pedreiras de rochas silicáticas da Paraíba e Rio Grande do Norte. Elas podem ser divididas em: Técnicas de métodos contínuos (perfuração contínua, *jet flame*, além do fio diamantado), que são métodos de corte onde não há interferência de outra força para a separação na bancada; e técnicas de métodos descontínuos (perfuração e explosivos, perfuração e cunhas, argamassa expansiva).

De acordo com PINHEIRO (2000) o fio diamantado é constituído por um cabo de aço galvanizado, que funciona como suporte para as pérolas diamantadas, separadas ao longo do cabo por molas metálicas (fio para mármore), ou por material plástico ou borracha, utilizados nos fios para rochas silicatadas, bem como em alguns tipos de mármore ricos em sílica. Normalmente, a montagem do fio diamantado é feita obedecendo a uma frequência de 29 a 35 pérolas/metro, para rochas carbonatadas, e 39 a 41 pérolas/metro, para rochas duras ou abrasivas. A emenda, utilizada para unir o fio, devem manter o espaçamento constante entre as pérolas e pode ser de cobre ou de aço.

O fio diamantado, ilustrado na Figura 9, utilizado nas pedreiras escolhidas para as correlações de seu rendimento de corte com as características das rochas estudadas foi o da marca *Solga Diamant*, de 11,5 mm de diâmetro e 40 pérolas por metro.



Figura 9 - Fio diamantado, utilizado durante a pesquisa.

A pérola é o elemento cortante, a mesma é constituído de uma pasta diamantada montada sobre um suporte cilíndrico. As mesmas realizam todo o trabalho de corte, possuindo um diâmetro externo inicial, que varia de 11,5 mm até 10,0 mm, de acordo com o fabricante e o tipo de pérola. Com a utilização, o diâmetro vai decaindo, até atingir o anel de suporte da pasta diamantada. O anel de suporte possui diâmetro externo, que atinge até 7,0 mm, também de acordo com o fabricante e o tipo de pérola.

Por sua vez a deposição dos diamantes nos anéis de suporte é feita através de dois processos, um é a eletrodeposição e o outro é a sinterização, a Figura 10 mostra os tipos de pérolas com sua formação eletrodepositada e sinterizada (PINHEIRO, 2000).

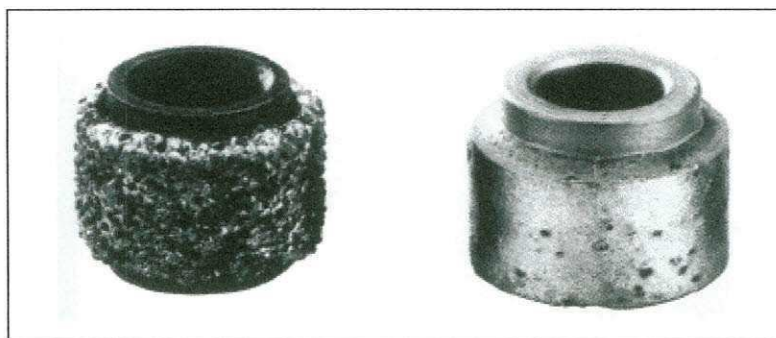


Figura 10 – Pérolas eletrodepositada (à esquerda) e sinterizada (à direita).

Os primeiros equipamentos de acionamento do fio diamantado foram inspirados nos utilizados na tecnologia do fio helicoidal. Os estudos iniciais para construção da máquina para acionamento do fio diamantado surgiram no início da década de 70. Logo por volta de 1977 esses equipamentos eram totalmente hidráulicos e com baixa potência instalada.

Os equipamentos são dotados de plataforma para abrigar a motorização e auxiliá-los no deslocamento sobre trilhos. O deslocamento da máquina é realizado através de um sistema cremalheira-pinhão, ou por patins solidários ao chassi, que deslizam sobre os trilhos. O seu acionamento é feito à distância, por meio de um painel de comando. Os parâmetros mais importantes que devem ser observados na máquina de corte são: a velocidade periférica linear e a potência da máquina. A velocidade periférica é a velocidade linear do fio diamantado em circuito fechado, a potência é a do motor principal, que exerce uma grande influência no trabalho com o fio diamantado (PINHEIRO, 2000).



Figura 11 – Máquina de acionamento de fio diamantado com regulagem eletrônica.

2.5.1. Operações de Corte com Fio Diamantado

Para se realizar cortes com fio diamantado tem-se que seguir do princípio de realização de furos coplanares (vertical e horizontal), feito por uma perfuratriz chamado fundo-furo ou down-the-hole. Logo depois de feito os furos coplanares, o fio é introduzido pelos furos, formando um circuito fechado, onde através de movimentos translacionais e de uma força de tração constante promovem o corte na rocha.

Um parâmetro importante de ser observado no corte com fio diamantado é o raio de curvatura que o fio faz, onde o mesmo trabalha sempre aberto proporcionando um corte perfeito. Há de observar também a água, pois o fio diamantado trabalha sempre lubrificado e resfriado, quando se há o excesso de água o mesmo pode ocasionar a ovalização das perlas e pouca água o desgaste precoce do mesmo.

Em função de sua grande flexibilidade e versatilidade, o fio diamantado pode realizar metodologias diferentes para realização das seções de corte já referidas, dependendo das condições de espaço e da morfologia da jazida explorada. A seguir são ilustrados as Figuras 12 a 16 que podem demonstrar características dessas metodologias de corte.

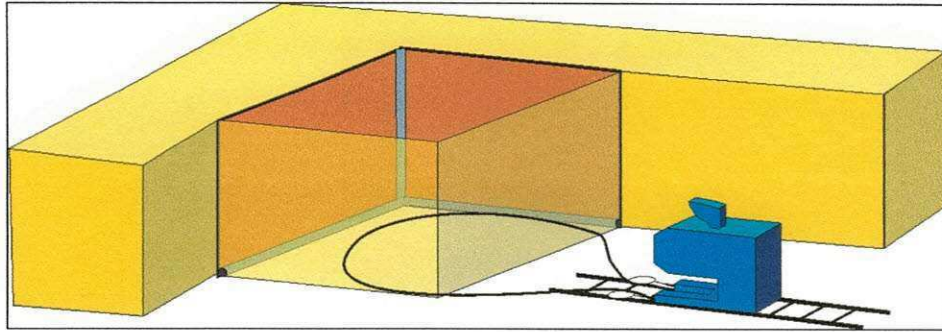


Figura 12 – Corte horizontal em lavra de maciço rochoso

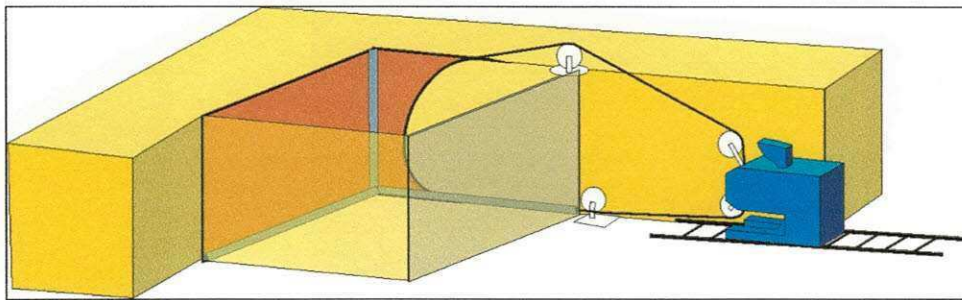


Figura 13 – Corte vertical em lavra de maciço rochoso.

Devido a problemas de espaço e irregularidades na morfologia da jazida, pode ser necessária a realização de Cortes em “L”, tanto em cortes verticais como em cortes horizontais, para isso faz-se necessário um arranjo mais elaborado na distribuição das polias para a realização dos corte, Figura 14.

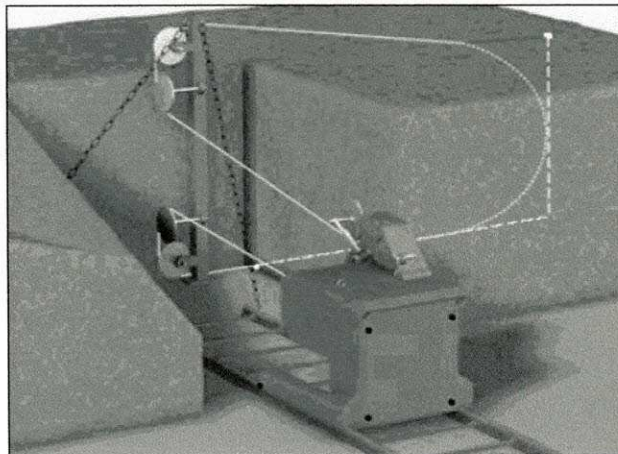


Figura 14 – Corte em “L” em lavra de maciço rochoso.

Até o momento foram referidos somente cortes na base da bancada com furos coplanares, mas por vezes o espaço é muito pequeno ou praticamente não existe e não é

possível a execução desses furos. Quando isso acontece surge a necessidade da realização de um corte “cego”. O corte “cego” consiste na realização de dois furos na vertical com diâmetro aproximado de 8” (0,203 m), onde vão ser introduzidas duas torres. Estas torres são constituídas por um tubo que na parte inferior contém uma polia de pequena dimensão, que vai estar dentro do furo e na outra extremidade uma polia de tamanho normal que ficara fora do furo.

O corte contrariamente a todos os outros que já foram referidos, inicia de fora para dentro daí, o nome de corte “cego”.

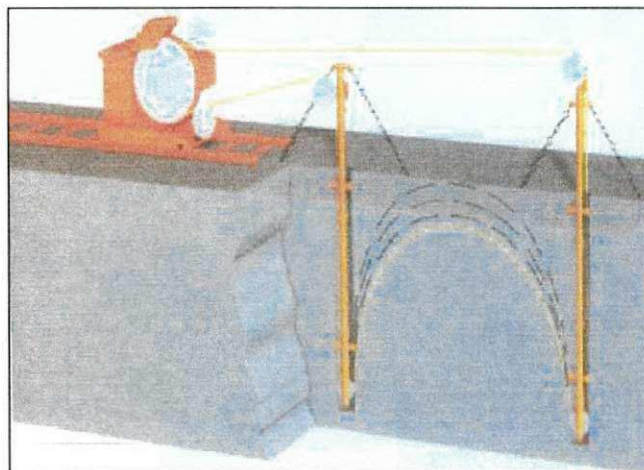


Figura 15 – Corte cego em lavra de maciço rochoso.

Na Figura 16 está ilustrado o esquema para a liberação da prancha, volumes de rocha desmontados em lavra de maciço rochoso que em seguida serão esquadrejados nos tamanhos desejados.

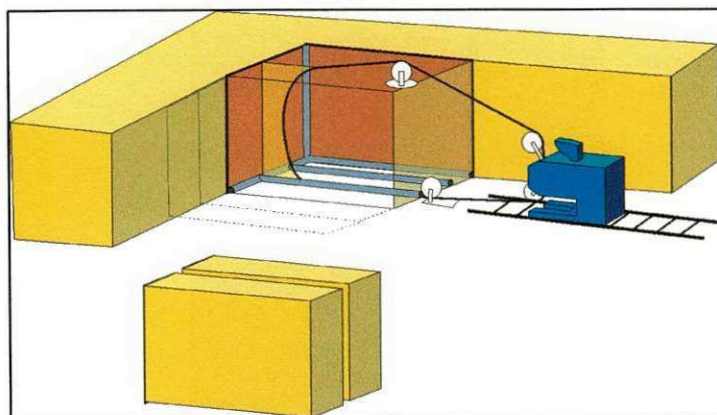


Figura 16 – Esquema para liberação de pranchas em lavra de maciço rochoso.

PINHEIRO (2000) apresenta procedimentos fundamentais para um bom funcionamento e um bom rendimento do fio diamantado nas operações de corte. Na mesma são relatados aspectos quanto à instalação da máquina de fio diamantado, e instalação e operação do fio diamantado.

REGADAS (2006) relata que quando tais procedimentos não são realizados com a devida atenção, algumas anomalias podem ocorrer tanto em relação ao rendimento do corte, quanto ao excesso de tensão que será solicitado na máquina. Em outras palavras, o sistema de corte (fio/máquina) não estará operando nas condições ideais, promovendo a diminuição da vida útil dos equipamentos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi adotada uma metodologia tradicional na pesquisa e desenvolvimento do projeto, de acordo com o cronograma de execução de tarefas ocorreram as seguintes atividades realizadas, que são descritas abaixo.

3.1. Levantamento Bibliográfico

Na fase inicial da pesquisa fez-se necessária uma revisão bibliográfica acerca de trabalhos desenvolvidos anteriormente, incluindo: livros, trabalhos periódicos, anais de eventos, relatórios de projetos, catálogos, teses, e documentos acessíveis na Internet, etc... A fim de reunir-se a maior quantidade de informações técnicas existentes, facilitando um melhor conhecimento e melhor utilização do bem mineral.

3.2. Reconhecimento das Pedreiras

Foram realizadas visitas de reconhecimento a diversas pedreiras da Paraíba e Rio Grande do Norte com o intuito de diagnosticar as tecnologias de corte que estão atualmente sendo usadas nas pedreiras de rochas ornamentais com produção expressiva. A seguir está ilustrada na Figura 17 uma dessas pedreiras visitadas. O material extraído é o Gold Fuji, localizado no Seridó paraibano, mais precisamente no município de Seridó – PB.

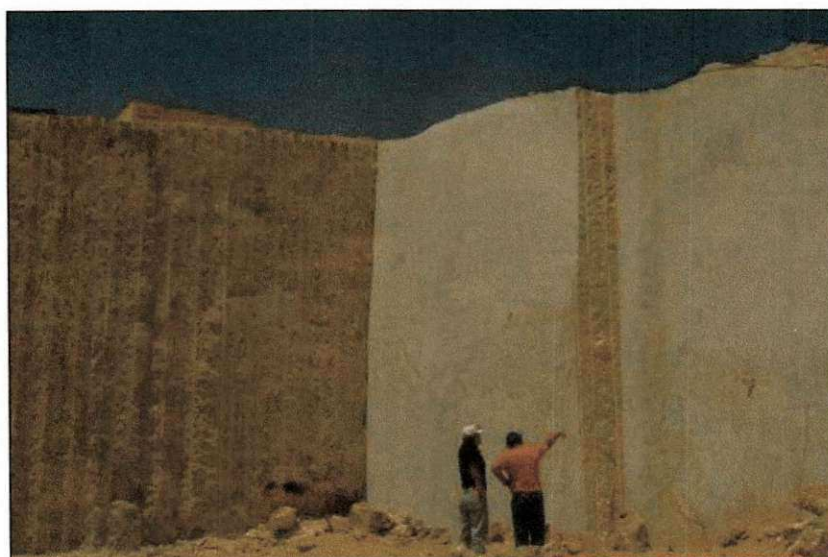


Figura 17 – Lavra de rocha ornamental com utilização de fio diamantado

O fio diamantado utilizado na pesquisa foi o da marca *Solga Diamant*, de 11,5 mm de diâmetro e 40 pérolas por metro. Os rendimentos de corte com fio diamantado, observados de cada rocha escolhidas para as correlações de seus rendimentos de corte com as características intrínsecas das rochas estão ilustrados na Figura 18.

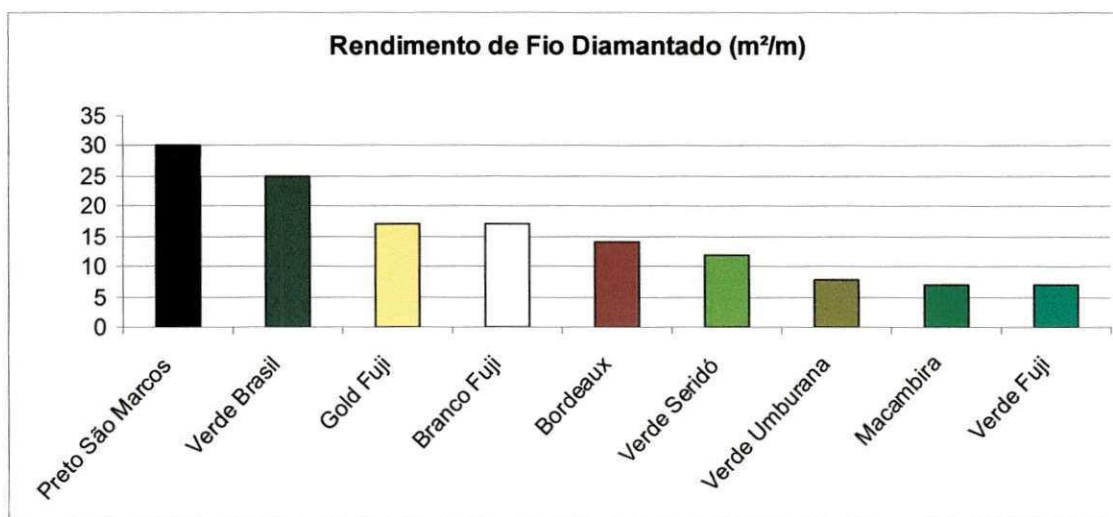


Figura 18 – Rendimentos de corte com fio diamantado apresentados nas rochas estudadas.

Obs: Os índices de Rendimento de corte com fio diamantado foram obtidos com a empresa CAIMEX, até então fornecedora do fio diamantado especificado.

3.3. Ensaios Tecnológicos

3.3.1. Amostragem e Corpos-de-Prova

Para a amostragem e preparação de corpos-de-prova, ilustrada na Figura 19, foram escolhidas rochas da Paraíba e Rio Grande do Norte, principalmente pela facilidade de acesso de material e por se tratarem de materiais comercialmente consolidados. A caracterização tecnológica das rochas referente às análises petrográficas, resistência à flexão e desgaste Amsler, foram fornecidos pela empresa FUJI S.A., a mesma também tratou de confeccionar os corpos-de-prova para os ensaios com o equipamento de carga pontual (PIL-7), para obtenção da Resistência à Compressão, como também autorizou os testes com o martelo Schmidt, para coleta obtenção da dureza de superfície, os ensaios foram realizados nos blocos brutos das rochas que estavam localizados no pátio de estocagem da empresa.



Figura 19 – Quadro de corpos-de-prova.

3.3.2. Ensaio de Resistência à Compressão Indireta

Os ensaios de carga pontual, para obtenção da resistência à compressão indireta, foram realizados no laboratório de mecânica das rochas da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – UAMG, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

○ Equipamento utilizado para ensaio

O equipamento, modelo PIL-7, que está representado na Figura 20, é um simples aparelho que foi utilizado para realizar os ensaios de carga pontual nos corpos-de-prova desta pesquisa. Este equipamento tem uma capacidade de carga de sete toneladas e aceita corpos-de-prova de tamanhos diferentes, mas tendo um limite de comprimento de 102 mm. O índice de carga pontual obtido no ensaio tem correlação com a resistência de compressão uniaxial da rocha testada.

Sendo simples e de fácil execução, o teste permite para o usuário delinear as resistências mecânicas das rochas facilmente. Tornando-se uma ferramenta útil na mineração, na nossa pesquisa tem a importância de obter uma representação confiável das resistências à compressão das rochas estudadas.



Figura 20 – Equipamento de carga pontual (PIL – 7).

➤ **Descrição do Ensaio**

Inicialmente os corpos-de-prova passaram por um processo de medição com a utilização de um paquímetro de boa precisão. Para atender às normas do teste de bloco para o PIL-7, as dimensões dos blocos tiveram que obedecer a relação: $0,3 W < D < W$, onde W é a largura e D a espessura do bloco, e que o ponto de aplicação das prensas seja no centro das faces superior e inferior do bloco, desde que $L > 0,5 D$, onde L é a metade do comprimento do bloco, conforme a Figura 21.

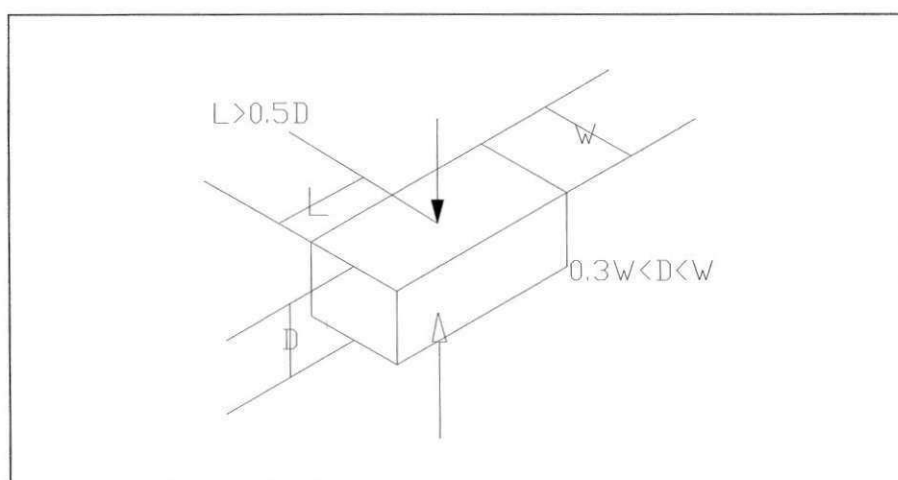


Figura 21 – Dimensões para teste de bloco.

O teste deve apenas ser considerado válido se a superfície de fratura passar através dos dois pontos de pressão. Nos ensaios apenas um corpo-de-prova não obedeceu esta regra.

Os corpos-de-prova foram introduzidos no equipamento, sendo submetidos à pressão exercida pelo aparelho, através da ação de uma alavanca hidráulica, até o bloco atingir a ruptura. Após as rupturas, eram verificadas diretamente no manômetro as pressões máximas com que os blocos eram rompidos, este manômetro tem capacidade de fazer 5000 leituras de medidas por segundo.

O Índice de resistência de carga pontual I_s , é determinado pela equação Eq. 1:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

Onde:

I_s = Índice de carga pontual em MPa

P = Carga de ruptura em N

De = Diâmetro equivalente do testemunho em mm

O Índice de resistência de carga pontual I_s , varia como uma função de De , de modo que é necessária uma correção para se obter um único valor de resistência de carga pontual para a amostra de rocha, portanto tem-se a Eq.2:

$$De^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (2)$$

A carga máxima de ruptura P , é obtida na equação Eq. 3:

$$P = L * Ae \quad (3)$$

Onde:

P = carga na ruptura em MPa

L = Leitura da máxima pressão em N

Ae = área efetiva do pistão em mm²

Nota: A área efetiva do pistão do equipamento (PIL - 7) é 9,48 cm².

Para se obter a correlação entre o índice de carga pontual I_s e a resistência de compressão uniaxial das rochas ensaiadas é necessário se fazer uma correção do I_s , no caso $I_s(50)$, seguindo a Eq. 4.

$$I_s(50) = I_s * F \quad (4)$$

Onde F é o Fator de conversão obtido pela equação Eq. 5.

$$F = (D_e/50)^{0,45} \quad (5)$$

A Resistência de compressão uniaxial (C_o) em MPa, é obtida na multiplicação do $I_s(50)$ por um número entre 20 e 25, nesse teste foi utilizado o multiplicador 22 para a obtenção desta correlação, conforme Eq. 6.

$$C_o = 22 * I_s(50) \quad (6)$$

Os resultados de resistência à compressão axial (C_o) foram os seguintes:

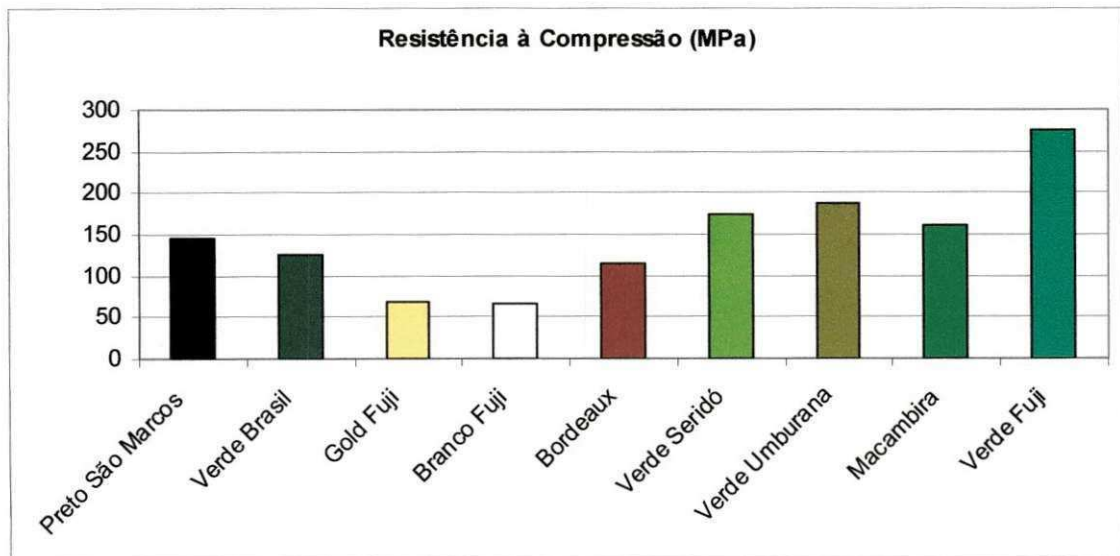


Figura 22 – Resultados dos ensaios indiretos de resistência à compressão.

Obs: As planilhas calculadas para cada rocha estão no Apêndice I.

3.3.3. Ensaio de Dureza de Superfície

- **Equipamento utilizado para ensaio**

O ensaio para obtenção do índice de dureza de superfície é não destrutivo e realizado com o martelo Schmidt (esclerômetro) tipo L, que tem uma energia de impacto de 74 Nm. Ele é utilizado mundialmente para testar a qualidade do concreto em estruturas. Na mecânica de rochas geralmente são usados para testes de classificação de núcleos de rocha e pedra britada. (Figura 23)

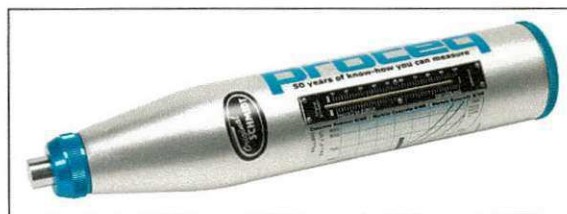


Figura 23 – Aparelho portátil, martelo Schmidt.

- **Descrição do Ensaio**

Antes dos ensaios, o esclerômetro foi calibrado com a utilização de uma bigorna de teste conforme instruções do fabricante. As amostras submetidas aos ensaios foram os blocos brutos de rocha ornamental dos respectivos materiais estudados nessa pesquisa, os mesmos estavam dispostos no pátio da empresa FUJI S.A. Os ensaios foram executados contra as superfícies dos blocos com o martelo posicionado na posição horizontal (Figura 24).



Figura 24 – Ensaio realizado na superfície do bloco de rocha.

Foram realizadas doze leituras (12) testes em cada bloco selecionado, sendo descartado a menor e o maior índice obtido, seguindo o funcionamento ilustrado na Figura 25.

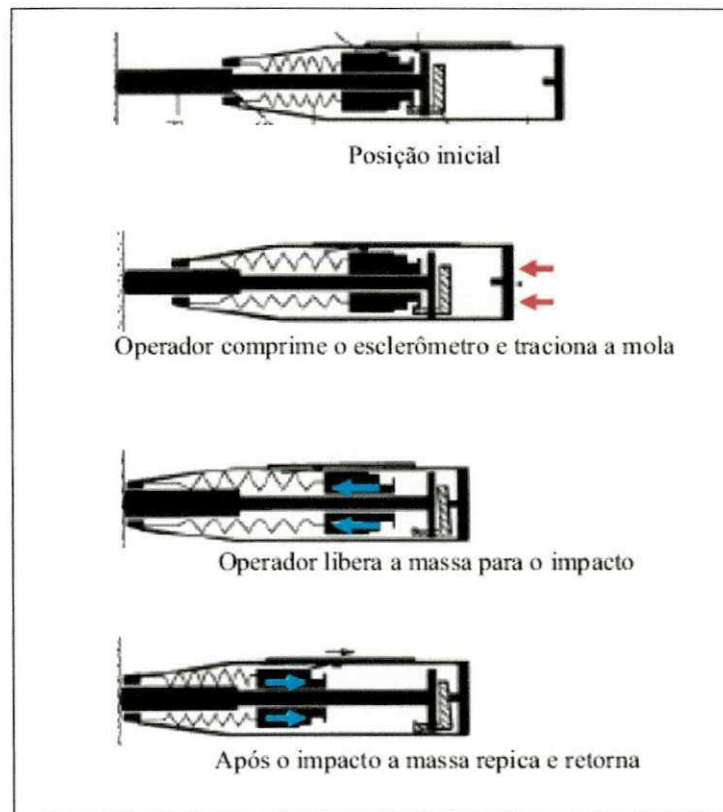


Figura 25 – Esquema simplificado do funcionamento do martelo Schmidt.

Para o cálculo do índice de repercussão de cada rocha é multiplicado a média das leituras obtidas no próprio equipamento por um fator de correção, que é baseado com a calibração do equipamento.

O índice é calculado na Eq. 7.

$$Ir = Ml * Fc \quad (7)$$

Onde:

Ir = Índice de Repercussão

Ml = Média das Leituras

Fc = Fator de Correção

Os índices de Dureza de Superfície foram os seguintes, ilustrados na Figura 26.

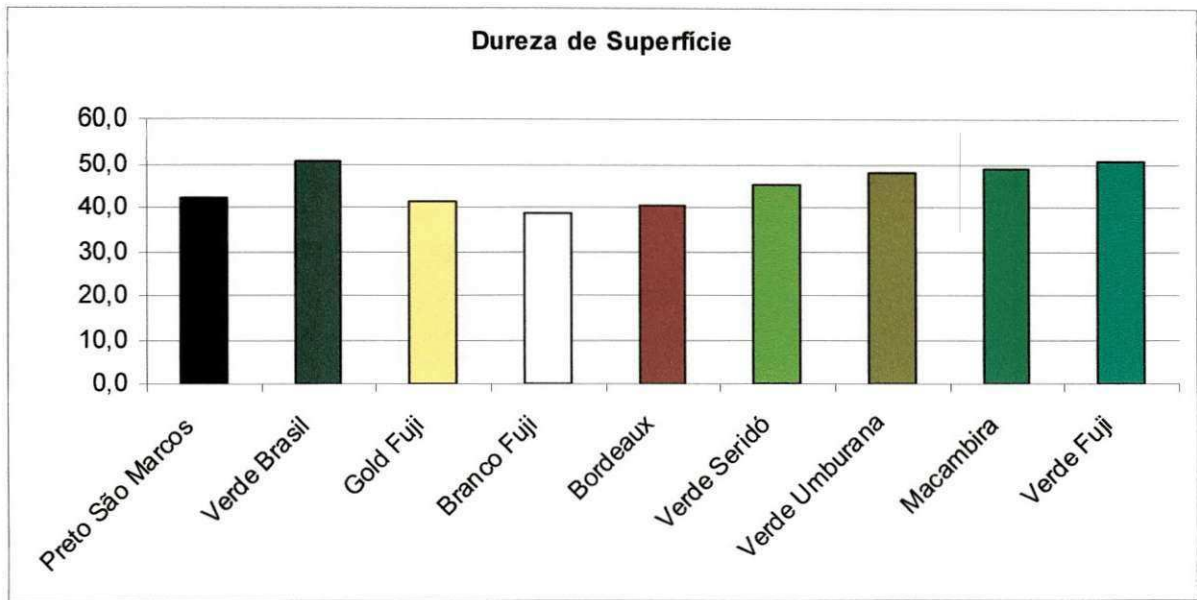


Figura 26 - Resultados dos ensaios de dureza de superfície.

Obs: A planilha da dureza de superfície das rochas estudadas está no Apêndice II.

3.4. Caracterização Tecnológica do Grupo de Rocha Estudado

PRETO SÃO MARCOS

Procedência: Sítio Pedrinha D'água, Município de Casserengue – PB.

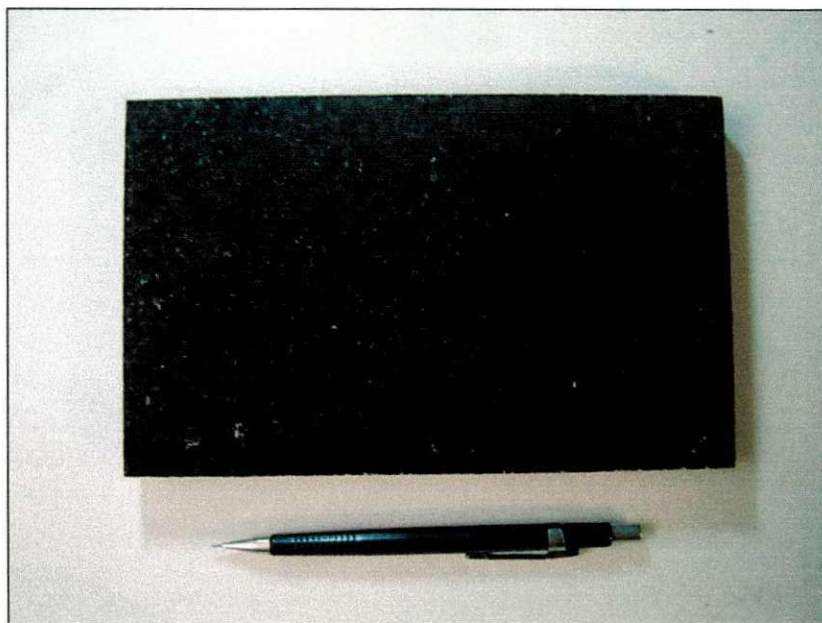


Figura 27 – Amostra polida (Preto São Marcos).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha melanocrática com textura equigranular de granulação fina, tamanho médio dos cristais de aproximadamente 0,1 a 0,5 mm, cor predominantemente preta devido a presença de minerais máficos e biotita.

Composição mineralógica: Plagioclásio (35%), Anfibólio (25%), Piroxênio (20%), Biotita (10%), Quartzo (5%), Acessórios (5%).

Classificação Petrográfica: Piroxênio Biotita Diorito

Dureza Absoluta Aproximada: 34,56

- **Resistência à Flexão :** 12,17 MPa
- **Resistência à Compressão :** 146,01 MPa
- **Desgaste Amsler :** 1,41
- **Dureza de Superfície:** 40,30

VERDE BRASIL

Procedência: Sítio Gangorra, Belém do Brejo da Cruz – PB.



Figura 28 – Amostra polida (Verde Brasil).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha mesocrática caracterizando-se por uma textura inequigranular fracamente porfirítica na qual a matriz milimétrica de cor escura a verde acomoda cristais supra-milimétricos até no máximo 3 cm de cores cinza a cinza esverdeada escura. Identificaram-se como minerais essenciais: plagioclásio, antipertita, biotita, hornblenda, epidoto, quartzo, mirmequita e ortoclásio.

Composição Mineralógica: Plagioclásio (47%), Antipertita (15%), Biotita (14%), Ortoclásio (5%), Epidoto (5%), Mirmequita (5%), Anfibólio(hornblenda) (4%), Quartzo (3%), Acessórios (2%).

Classificação Petrográfica: Biotita Hornblenda Epidoto Monzodiorito.

Dureza Absoluta Aproximada: 36,78

- **Resistência à Flexão:** 8,94 MPa
- **Resistência à Compressão:** 125,51 MPa
- **Desgaste Amsler:** 0,67
- **Dureza de Superfície:** 50,76

GOLD FUJI

Procedência: Sítio Serra Verde, Seridó – PB.



Figura 29 – Amostra polida (Gold Fuji).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha ígnea róseo-caramelada, pegmatítica, com textura porfírica heterogênea, essencialmente feldspática, com intercrescimentos gráficos (quartzo) visíveis a olho nu. Presença de minerais opacos lamelares (biotita) com até 2,5 cm de comprimento, com aspecto ripiforme. Padrão estético presumivelmente muito heterogêneo, não orientado (grumoso). Há inclusões de quartzo (hialino) em forma de gotas, com distribuição esparsa, atingindo até 1 cm.

Composição Mineralógica: Plagioclásio (40%), Microclina (35%), Quartzo (20%), Biotita (2,5%), Muscovita (2,5%).

Classificação Petrográfica: Pegmatito

Dureza Absoluta Aproximada: 51,89

- **Resistência à Flexão :** 3,76 MPa
- **Resistência à Compressão :** 68,40 MPa
- **Desgaste Amsler :** 0,65
- **Dureza de Superfície:** 41,44

BRANCO FUJI

Procedência: Sítio Pedra D'água, Nova Palmeira – PB.



Figura 30 – Amostra polida (Branco Fuji).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha ígnea branco caramelada, pegmatítica, com textura porfirítica heterogênea, essencialmente feldspática, com intercrescimentos gráficos (quartzo) visíveis a olho nu. Presença de minerais opacos lamelares (biotita) com até 3,5 cm de comprimento, com aspecto ripiforme. Padrão estético presumivelmente muito heterogêneo, não orientado (grumoso). Há inclusões de quartzo (hialino) em forma de gotas, com distribuição esparsa, atingindo até 2 cm.

Composição Mineralógica: Plagioclásio (35%), Microclina (35%), Quartzo (20%), Biotita (10%).

Classificação Petrográfica: Pegmatito

Dureza Absoluta Aproximada: 50,19

- **Resistência à Flexão :** 6,26 MPa
- **Resistência à Compressão :** 67,15 MPa
- **Desgaste Amsler :** 0,98
- **Dureza de Superfície:** 38,50

BORDEAUX

Procedência: Sítio Suçuarana, Currais Novos – RN.

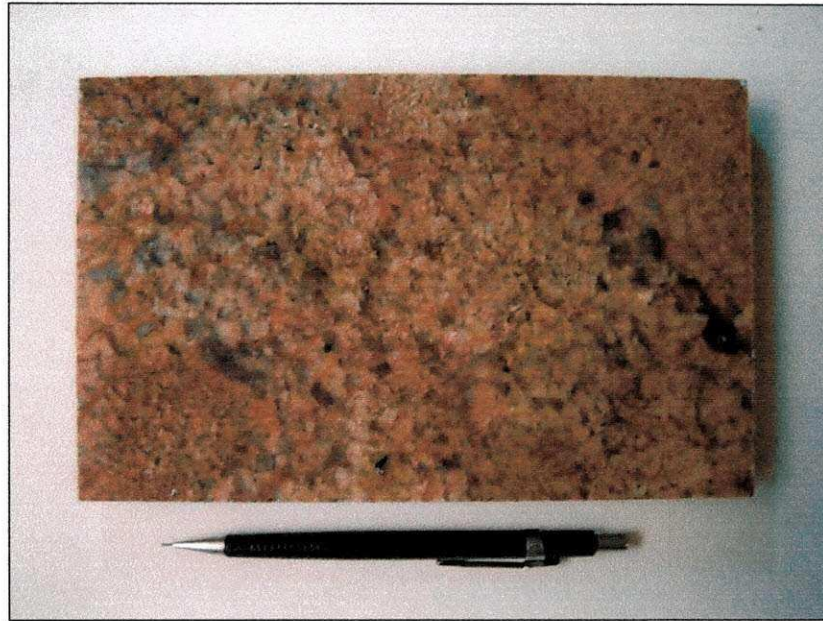


Figura 31 – Amostra polida (Bordeaux).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha melanocrática com textura equigranular de granulação de média e grosseira, tamanho médio dos cristais de aproximadamente 1,0 a 4,0 cm, cor predominantemente vermelha com presença de feldspatos alcalinos, quartzo, biotita e minerais máficos, sem foliação aparente.

Composição Mineralógica: Plagioclásio (35%), Microclina (35%), Quartzo (25%), Biotita (2,5%), Muscovita (2,5%).

Classificação Petrográfica: Granito

Dureza Absoluta Aproximada: 56,04

- **Resistência à Flexão:** 12,84 MPa
- **Resistência à Compressão:** 114,54 MPa
- **Desgaste Amsler:** 0,60
- **Dureza de Superfície:** 40,43

VERDE SERIDÓ

Procedência: Sítio Cauã, Município de Seridó – PB.



Figura 32 – Amostra polida (Verde Seridó).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha melanocrática de granulação fina a média, tamanho médio dos cristais de aproximadamente 0,5 cm, coloração rósea esverdeada com manchas escuras constituídos de cristais finos disseminados pelo corpo, com aparentemente direção preferencial de fraqueza.

Composição Mineralógica: Microclina (43%), Quartzo (31%), Epidoto (16%), Granada (5%), Biotita (2,5%), Muscovita (2,5%).

Classificação Petrográfica: Meta-Conglomerado

Dureza Absoluta Aproximada: 65,81

- **Resistência à Flexão :** 11,31 MPa
- **Resistência à Compressão :** 173,63 MPa
- **Desgaste Amsler :** 0,76
- **Dureza de Superfície:** 45,38

VERDE UMBURANA

Procedência: Sítio Cacimba de Baixo, Município de Messias Targino – RN.



Figura 33 – Amostra polida (Verde Umburana).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha de composição calcosilicática (escarnito diopsídico) de granulação fina, coloração em tons esverdeados com textura sacaroidal, apresenta médio a alto grau de metamorfismo regional e que sofreu seguramente várias fases de deformação.

Composição Mineralógica: Diopsídio (50%), Plagioclásio (30%), Granada (15%), Quartzo, Clorita, Calcita e outros (5,0%).

Classificação Petrográfica: Escarnito Diopsídico

Dureza Absoluta Aproximada: 54,20

- **Resistência à Flexão:** 17,64 MPa
- **Resistência à Compressão :** 188,57 MPa
- **Desgaste Amsler :** 0,70
- **Dureza de Superfície:** 48,03

MACAMBIRA

Procedência: Município de Santa Cruz – PB.



Figura 34 – Amostra polida (Macambira).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha metamórfica escarnítica, sacaroidal fina, compacta, com tonalidade predominantemente esverdeada, incluindo listras e nébulas orientadas de cor gelo. A rocha é essencialmente constituída de quartzo e feldspatos (plagiocásios), imbricados entre si, formando uma trama de cristais xenomórficos de pequenas dimensões (< 0,2 mm). Contém ainda granada em proporções significativas (> 10%) e epidoto. Acessoriamente observa-se a presença de calcita e titanita, além de bastões de apatita no interior do quartzo.

Composição Mineralógica: Quartzo (45%), Plagioclásio (25%), Granada (15%), Epidoto (10%), Titanita (2%), Clorita (1%), Calcita (1%), Acessórios (1%).

Classificação Petrográfica: Escarnito Silicático

Dureza Absoluta Aproximada: 93,72

- **Resistência à Flexão :** 15,08 MPa
- **Resistência à Compressão :** 161,79 MPa
- **Desgaste Amsler:** 0,59
- **Dureza de Superfície:** 48,96

VERDE FUJI

Procedência: Fazenda Camuru, Município de Messias Targino – RN.

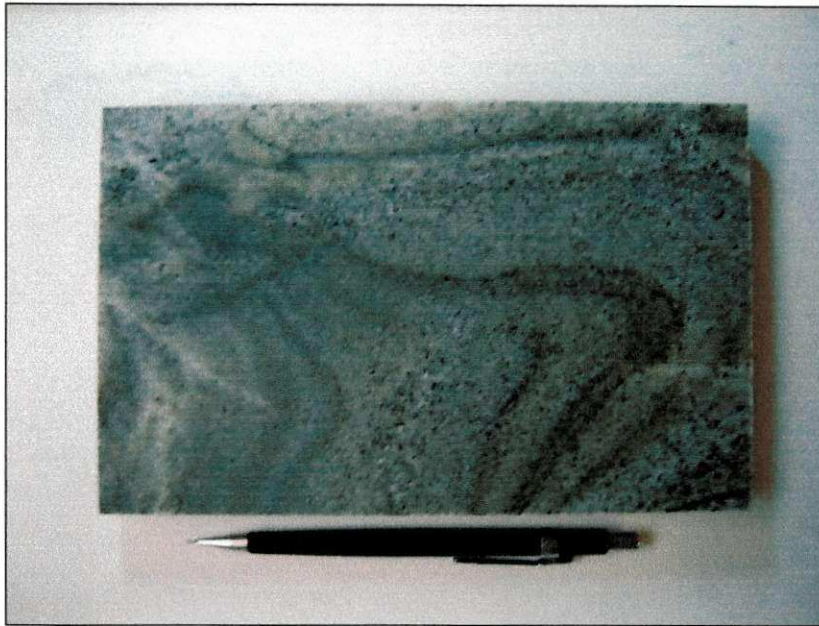


Figura 35 – Amostra polida (Verde Fuji).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Rocha de cor rósea esverdeado, granulometria variando de milimétrica a subcentimétrica, tendo partes esverdeadas preenchendo fraturas e ocupando porções destacadas do conjunto da rocha. Observou-se ainda a presença de malaquita ao longo de fraturas. Apresenta um discreto bandamento constituído por faixas estreitas e descontínuas, ricas em epidoto, sobre um conjunto de grãos de quartzo, alongados na mesma direção do bandamento; o quartzo apresenta granulometria heterogênea, forte extinção ondulante e contatos entre grãos irregulares a micro serrilhados. Essas características denunciam que a rocha foi submetida a fortes esforços tectônicos.

Composição Mineralógica: Quartzo (74%), Epidoto (16,2%), Granada (5%), Plagioclásio (3,1%), Microclina (1,2%), Titanita (0,5%).

Classificação Petrográfica: Quartzito com Epidoto e Granada.

Dureza Absoluta Aproximada: 110,59

- **Resistência à Flexão :** 24,08 MPa
- **Resistência à Compressão :** 276,81 MPa
- **Desgaste Amsler:** 0,50
- **Dureza de Superfície:** 50,76

4. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS DE ROCHAS E RENDIMENTOS DE CORTE COM FIO DIAMANTADO

Neste capítulo é proposto um modelo para os rendimentos de corte com fio diamantado, correlacionando-os com as características intrínsecas das rochas. Uma análise geral das correlações entre as variáveis é apresentada. Em geral, o modelo apresenta bom resultado, indicando que pode ser usado para a predição dos rendimentos de corte com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais.

Os valores utilizados na quantificação das variáveis para as correlações e para o desenvolvimento e proposição do modelo de rendimento de fio diamantado estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores Utilizados para Correlação e Proposição de Modelo para Rendimento de Fio Diamantado

| MATERIAL | % de Quartzo | Dureza Absoluta | Resistência à Compressão (MPa) | Resistência à Flexão (MPa) | Desgaste Amsler | Dureza de Superfície | Rendimento de Fio Diamantado (m²/m) |
|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|---|
| Preto São Marcos | 5 | 34,56 | 146,01 | 12,17 | 1,41 | 40,30 | 30 |
| Verde Brasil | 3 | 36,78 | 125,51 | 8,94 | 0,67 | 50,76 | 25 |
| Gold Fuji | 20 | 51,89 | 68,40 | 3,76 | 0,65 | 41,44 | 17 |
| Branco Fuji | 20 | 50,19 | 67,15 | 6,26 | 0,98 | 38,50 | 17 |
| Bordeaux | 25 | 56,04 | 114,54 | 12,84 | 0,6 | 40,43 | 14 |
| Verde Seridó | 31 | 65,81 | 173,63 | 11,31 | 0,76 | 45,38 | 12 |
| Verde Umburana | 3 | 54,20 | 188,57 | 17,64 | 0,70 | 48,03 | 8 |
| Macambira | 45 | 93,72 | 161,79 | 15,08 | 0,59 | 48,96 | 7 |
| Verde Fuji | 74 | 110,59 | 276,81 | 24,08 | 0,50 | 50,76 | 7 |

4.1. Análise Estatística para Correlação

O coeficiente de correlação mede o grau de correlação linear existente entre duas variáveis. Este coeficiente, normalmente representado pela letra “r”, assume apenas valores entre -1 e 1.

- $r = 1$ significa uma correlação perfeita e positiva entre as variáveis;
- $r = -1$ significa uma correlação negativa perfeita entre as variáveis;
- $r = 0$ significa que as variáveis não dependem linearmente uma da outra.

Para um modelo linear, podemos estabelecer uma relação entre a percentagem de variação explicada (ou coeficiente de determinação) R^2 , e o coeficiente de correlação $r(x,y)$, tal como mostrado na Eq. 8.

$$R^2 = r^2(x, y) \quad (8)$$

onde x e y são variáveis aleatórias.

A igualdade da Eq. 9 mostra que, quando adotamos o modelo: $y_i = a + bxi + \varepsilon_i$, onde ε_i é o erro aleatório, a percentagem de variação explicada pela regressão é também uma medida da associação linear entre x e y . Pode-se demonstrar, portanto, que em qualquer circunstância para qualquer regressão linear com qualquer número de variáveis, R é o coeficiente de correlação entre as respostas observadas e os valores previstos pelo modelo ajustado:

$$R = r(y, Y) \quad (9)$$

onde y é a resposta observada e Y é o valor previsto.

Esta relação é legítima, pois tanto os valores observados quanto os valores previstos são variáveis aleatórias. O valor de R , que é chamado de coeficiente de correlação múltipla, nunca é negativo. Ele é o maior valor da correlação que uma

combinação linear das variáveis independentes, na forma especificada pelo modelo, pode ter com os valores de y observados (Costa, 2007).

A análise estatística das correlações entre as variáveis envolvidas no modelo é muito importante, pois, através dos coeficientes de correlação entre as mesmas é possível identificar as variáveis que são independentes e também aquelas que exercem maior influência sobre uma outra variável qualquer. Porém, a análise dessa interdependência entre as variáveis não deve ser feita apenas através dos coeficientes de correlação, já que erros experimentais e determinadas características inerentes dos produtos podem interferir nos resultados, gerando correlações enganosas para algumas características.

Geralmente considera-se que, se um fator de correlação é igual ou superior a 0,5 entre duas variáveis, significa que existe uma relação de dependência entre elas. Deste modo, pode-se escolher apenas uma das duas para ser usada como variável de entrada do modelo. Se o fator entre uma variável de entrada e uma de saída é igual ou superior a 0,9, significa que a variável de saída é fortemente influenciada por aquela variável de entrada.

É possível observar também como se correlacionam as variáveis dependentes entre si. Se duas delas estão bem correlacionadas, significa que é possível prever uma a partir do valor da outra.

4.2. Matriz de Correlação

O programa STATISTICA foi utilizado para a análise das correlações entre as variáveis e para o desenvolvimento do modelo. O índice de confiança ou de importância estatística (p) de um resultado (fator de correlação ou parâmetro) é uma medida estimada do quanto ele é verdadeiro, ou seja, do quanto ele é representativo da população. Assim, o valor numérico de “ p ” representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado, isto é, quanto maior o valor de “ p ”, menor é a probabilidade de que a relação observada entre as variáveis em uma amostra seja aquela que existe entre as respectivas variáveis na população correspondente. Para a escolha da equação do modelo escolhido, o valor máximo de “ p ” adotado foi o valor padrão utilizado pelo STATISTICA, que é 0,05, o que significa que a probabilidade de o valor

calculado para o fator de correlação se repetir em outro conjunto de dados é maior ou igual a 95%. No entanto, no caso específico da variável independente da equação “Desgaste Amsler (*Dam*)”, adotou-se o valor de “p” maior que 0,05, para uma variável independentes da equação, considerando-se bom o coeficiente de correlação múltipla do modelo. Além disso, para a construção do modelo, levou-se principalmente em consideração, o comportamento da correlação observado entre a variável de saída (rendimento) e as variáveis de entrada (características intrínsecas) escolhidas para a equação, ou seja, as dependências funcionais existentes entre as variáveis.

Os fatores de correlação entre as variáveis, para o grupo de rochas estudado, podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz de Correlação para Grupo de Rocha Estudado

| VARIÁVEL | % de Quartzo | Dureza Absoluta | Resistência à Compressão | Resistência à Flexão | Desgaste Amsler | Dureza de Superfície | Rendimento de Fio Diamantado |
|------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| % de Quartzo | 1,00 | 0,95 | 0,60 | 0,59 | -0,52 | 0,35 | -0,64 |
| Dureza Absoluta | 0,95 | 1,00 | 0,69 | 0,70 | -0,60 | 0,52 | -0,80 |
| Resistência à Compressão | 0,60 | 0,69 | 1,00 | 0,94 | -0,29 | 0,70 | -0,49 |
| Resistência à Flexão | 0,59 | 0,70 | 0,94 | 1,00 | -0,30 | 0,60 | -0,55 |
| Desgaste Amsler | -0,52 | -0,60 | -0,29 | -0,30 | 1,00 | -0,58 | 0,73 |
| Dureza de Superfície | 0,35 | 0,52 | 0,70 | 0,60 | -0,58 | 1,00 | -0,41 |
| Rendimento de Fio Diamantado | -0,64 | -0,80 | -0,49 | -0,55 | 0,73 | -0,41 | 1,00 |

Os fatores de correlação entre as variáveis observadas na Tabela 6, para o grupo de rocha estudado, apresentam correlações significativas com 95% de confiança. Na mesma também são apresentadas as correlações entre as características usadas como variáveis independentes, e não somente as correlações entre o rendimento e as características intrínsecas.

4.3. Correlações Qualitativas

Com a construção da Matriz de Correlação, foi possível a realização de uma análise do comportamento geral do rendimento de corte com fio diamantado, com relação às características intrínsecas das rochas estudadas. A Tabela 7 mostra como o Rendimento de corte com fio (variável dependente) tende a variar com a variação das características intrínsecas das rochas (variáveis independentes).

Tabela 7 – Correlações Qualitativas entre Rendimento e Variáveis Independentes

| O Rendimento do Fio Diamantado... | Quando a... |
|--|----------------------------|
| Aumenta Consideravelmente | Dureza Absoluta ↓ |
| Aumenta Consideravelmente | Desgaste Amsler ↑ |
| Tende a Aumentar | % de Quartzo ↓ |
| Tende a Aumentar Levemente | Resistência à Flexão ↓ |
| Tende a Aumentar Levemente | Resistência à Compressão ↓ |
| Tende a Aumentar Levemente | Dureza de Superfície ↓ |

Através da Matriz de correlação, pôde-se observar que a dureza absoluta (*Da*) apresenta correlação forte e negativa com o rendimento de fio diamantado, ou seja, quanto maior a dureza absoluta de uma rocha menor o rendimento de corte com fio diamantado, essa correlação expressa a grande influência que a dureza oferece a penetração de uma ferramenta cortante. O desgaste Amsler (*Dam*) apresenta correlação forte e positiva com relação ao rendimento de fio dimantado, essa correlação demonstra que quanto mais abrasivo for a rocha menor será o rendimento do fio, ou seja, quanto maior o resultado do índice do ensaio de desgaste Amsler menor a resistência a abrasão do material analisado, conseqüentemente maior rendimento de fio diamantado em corte na lavra de rochas ornamentais.

A variável porcentagem de quartzo apresenta uma correlação com tendência de aumento do rendimento de fio na medida em que a mesma diminui, essa correlação negativa pode ser mascarada em rochas que apresentam grandes dureza absolutas mesmo sem uma boa porcentagem de quartzo em sua composição mineralógica, um exemplo disso é a rocha Verde Umburana, que se trata de um escarnito diopsídico, que apresenta um rendimento de fio diamantado considerado baixo, 8 (oito), mesmo tendo o quartzo numa proporção muito pequena, em torno de 3% da sua composição.

Quanto às variáveis, resistência à flexão, resistência à compressão e dureza de superfície, apresentam influências leves na correlação negativa com rendimento de fio diamantado, não se demonstrando significativas para construção de modelo de predição de rendimento de corte com fio diamantado. Na matriz de correlação constatam-se boas correlações entre as mesmas variáveis.

4.4. Modelo Empírico

Para a construção do modelo empírico, como dito anteriormente, foi utilizado grupo de rochas produzidas pela FUJI S.A, correlacionando os rendimentos de fio diamantado com as características intrínsecas das rochas. Foram considerados os fatores que apresentaram os melhores coeficientes de correlação. As variáveis independentes utilizadas foram a Dureza absoluta (*Da*) e Desgaste Amsler (*Dam*), que apresentaram coeficiente de correlação linear de -0,80 e 0,73 respectivamente. A variável dependente é o Rendimento de fio diamantado (*Rf*).

A equação de correlação (Eq. 10) obtida e os coeficientes de correlação múltipla (R) das mesmas estão apresentadas abaixo. Os índices de confiança ou de importância estatística “p”, para cada um dos parâmetros das variáveis independentes da equação, para o grupo de rochas, estão apresentados na Tabela 8.

$$R_f = 0,00647 * Da * Da - 1,15881 * Da + 5,48624 * Dam + 54,17393 \quad (10)$$

$$R^2 = 0,90042801$$

$$R = 0,94890885$$

Tabela 8 – Parâmetros das Variáveis e Índices de Confiança

| | | p |
|----------|-----------------|-----------------|
| a | 0,00647 | 0,035249 |
| b | -1,15881 | 0,020523 |
| c | 5,48624 | 0,367201 |
| d | 54,17393 | 0,013330 |

Pode-se observar que foi possível obter um modelo, com bom coeficiente de correlação múltipla. No entanto, através de um estudo mais aprofundado envolvendo uma maior quantidade de amostras para correlação, pode-se buscar o aumento do coeficiente de correlação múltipla para o modelo mostrado. Porém, como já mencionado, o modelo foi construído levando-se em consideração que as variáveis independentes (Desgaste Amsler e Dureza absoluta) utilizadas no modelo exercem efeitos significativos no rendimento das rochas, além de saber que os ensaios de Desgaste Amsler e Análise petrográfica já serem rotineiramente realizados durante ensaios para utilização do produto final das rochas ornamentais.

4.5. Ajuste do Modelo aos Dados Observados

Após a construção do modelo, foi feita uma análise dos erros obtidos entre os valores observados dos rendimentos e os valores calculados através do modelo. O gráfico para o rendimento das rochas, mostrados na Figura 36, fornece uma idéia sobre o ajuste do modelo aos dados observados.

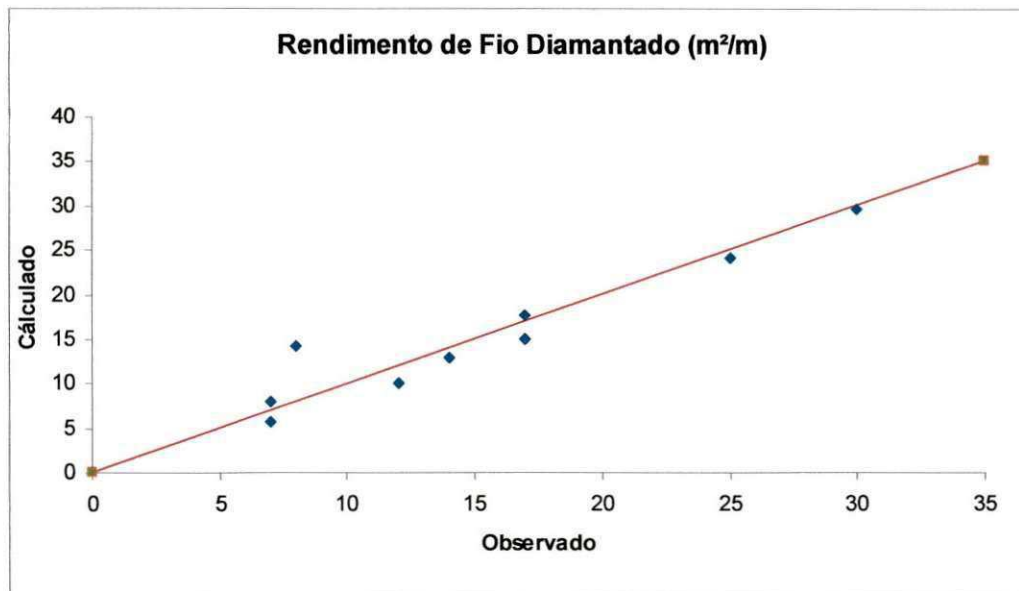


Figura 36 – Ajuste do modelo aos dados observados para rendimento de fio diamantado.

Observando o gráfico, pode-se perceber que os resultados calculados através do modelo se ajustam bem aos dados observados, indicando que o modelo pode ser utilizado para predição do Rendimento de corte com fio diamantado na lavra de rochas.

4.6. Validação e Simulação do Modelo

Para análise de validação do modelo proposto para predição de rendimento de fio diamantado, obtido com um grupo de rocha de rochas silicáticas, foram realizadas simulações com duas outras rochas, sendo as mesmas denominadas de Branco Imaculadas (Figura 37) e Marrom Imperial (Figura 38), ambas, também processadas pela FUJI S.A.

BRANCO IMACULADA

Procedência: Imaculada – PB



Figura 37 – Amostra polida (Branco Imaculada).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Apresenta cor esbranquiçada, com granulação média e homogênea, com textura granular-equigranular-istrópica.

Composição Mineralógica: Plagioclásio (36%), Microclina (27%), Quartzo (27%), Biotita (6%), Epidoto (3%), Acessórios (1%).

Classificação Petrográfica: Biotita Granito.

Dureza Absoluta Aproximada: 58,73

○ **Desgaste Amsler:** 0,78

MARROM IMPERIAL

Procedência: Bom Jardim – PE



Figura 38 – Amostra polida (Marrom Imperial).

○ **Análise Petrográfica:**

Descrição: Apresenta granulação grosseira, é isotrópica e apresenta cor marrom escura. É formada essencialmente por pórfiros e grãos grosseiros de feldspatos de cor marrom circundados por aureolas de cores rosa, amarela e alaranjada.

Composição Mineralógica: Ortoclásio (80%), Augita (8%), Anfibólio (5%), Biotita (2%), Acessórios (5%).

Classificação Petrográfica: Sienito Monzonito.

Dureza Absoluta Aproximada: 39,25

○ **Desgaste Amsler:** 0,40

Para simulação da equação (Eq. XI) utilizaram-se as variáveis independentes: Dureza absoluta (Da) e Desgaste Amsler (Dam), das rochas denominadas de Branco Imaculada e Marrom Imperial. O rendimento de fio diamantado calculado para primeira é de $12,43 \text{ m}^2/\text{m}$, tendo o valor observado durante a operação de corte com fio diamantado de $12,00 \text{ m}^2/\text{m}$. O Marrom Imperial tem o valor calculado pelo modelo de $17,36 \text{ m}^2/\text{m}$ e o valor observado de $16,00 \text{ m}^2/\text{m}$. Constata-se o um desvio mínimo entre o valor calculado e valor observado para o rendimento de fio diamantado de ambas as rochas simuladas.

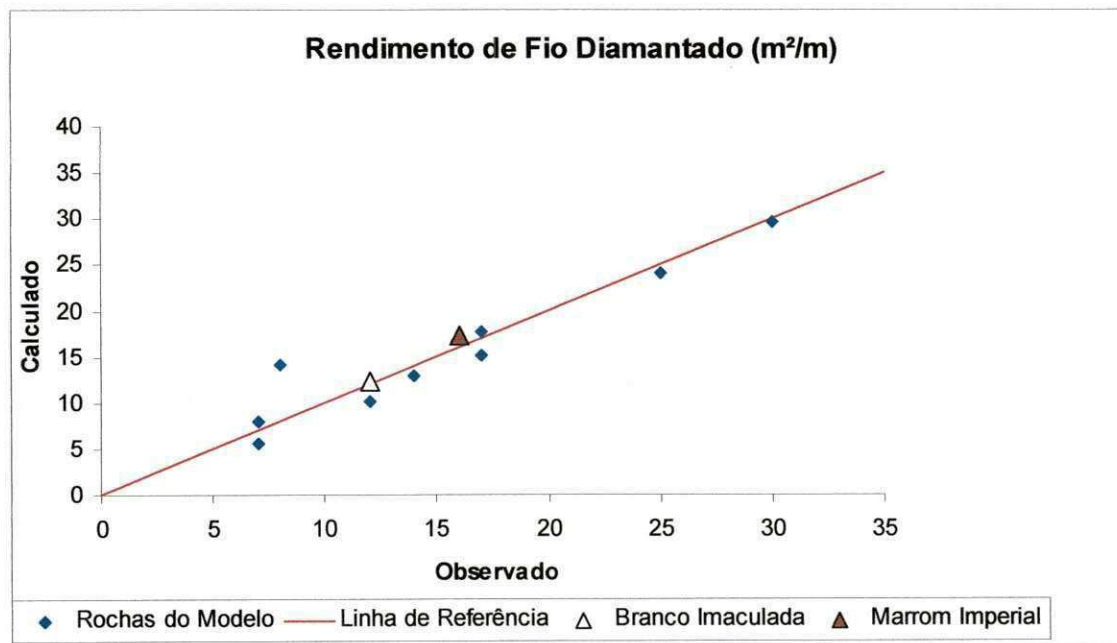


Figura 39 – Resultados calculados e observados para rendimento de corte com fio diamantado.

4.7. Discussão dos Resultados

De acordo com os resultados obtidos e apresentados, ao longo deste capítulo, pode-se concluir que o modelo construído apresenta resultados muito bons e satisfatórios, podendo ser útil para predição de rendimentos de fio diamantado em pedreiras de rochas silicáticas. Entretanto a eficiência da equação deve ser testada com cautela, visto que os rendimentos de cortes com fio diamantados na lavra de rochas ornamentais obtidos para a formulação do modelo são baseados em média de cortes (verticais, horizontais, cegos, etc.), pois se sabe que existem desgastes diferenciados pra

cada tipo de corte, além dos cortes terem sido executados em condições operacionais diferentes e por operadores variados. Pode-se também, existir possíveis variações litológicas nas frentes de lavra. Deve-se também ser considerados a possibilidade da existência de erros dos dados fornecidos pela empresa, já que boa parte dos mesmos foram cedidos pela FUJI S.A, que por sua vez terceiriza a caracterizações tecnológica de suas rochas em laboratórios distintos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O estudo da correlação entre características de rochas e rendimento de corte com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais é de grande importância para essa indústria extrativa mineral, visto que esse setor ainda é bastante carente de inovações tecnológicas, além de muito vulnerável economicamente, principalmente em relação a questões cambiais e a dependência de mercados externos.

O modelo proposto nessa pesquisa pode ser utilizado para predição do rendimento de corte com fio diamantado, tornando-se importante na previsão de investimentos com fio diamantado na lavra de rochas ornamentais, podendo ser útil na prevenção de gastos desnecessários em pedreiras em atividade como também nas pedreiras ainda inexploradas, pelo fato de tratar-se de um artifício considerado rápido e de baixo custo.

No presente trabalho foi constatado que a análise petrográfica, no que se refere à composição mineralógica, para mensuração da dureza absoluta das rochas; e o ensaio de desgaste Amsler, para definição relativa de abrasividade das rochas, foram as características tecnológicas que apresentaram os melhores coeficientes de correlação, sendo as mesmas escolhidas como variáveis independentes para a construção do modelo. Embora nessa pesquisa tenham sido correlacionados apenas aspectos ligados a composição mineralógica sabe-se que as características petrográficas tem forte influência sobre as demais propriedades físico-mecânicas e na extração de rochas, aspectos referentes a estrutura (planos de fraqueza, descontinuidades, tensões) e textura (granulometria, alteração mineralógica, coerência, forma das partículas) refletem significativamente na lavra de rochas ornamentais, assim deve-se realizar estudos mais aprofundados buscando estabelecer parâmetros de influências de tais características, para o desenvolvimento de correlações e construções de modelos ainda mais satisfatórios.

Também vale salientar que a avaliação do consumo de fio diamantado no decorrer do corte na pedreira constitui-se em uma tarefa de difícil realização, devido grande quantidade de variáveis operacionais que envolvem o processo, como exemplo tem-se: velocidade de corte, ângulo de curvatura do fio durante o corte, refrigeração do

fio, instalação da máquina e das polias, além do próprio produto, que representam condições indispensáveis para um pleno desenvolvimento de uma operação de lavra. Assim existe espaço para pesquisas no sentido de diagnosticar as influências das variáveis operacionais no rendimento dessa consagrada tecnologia de corte.

Dessa forma, quanto maior o desenvolvimento tecnológico e científico, aliados a otimização dos procedimentos operacionais, torna-se cada vez mais real o alcance do aproveitamento mais competitivo e racional na lavra de rochas ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, J.M.F. Rochas ornamentais: terminologia e critérios de prospecção. III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e do VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal 2007. Anais. Natal 2007, p 147.

CHIODI FILHO, C. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Rochas & Equipamentos, nº 51, p - 84 – 139, 3º trimestre 1998.

CICCU R.; & VIDAL F.W.H. Tecnologias Avançadas de Lavra de Rochas Ornamentais. I Seminário da Rochas Ornamentais do Nordeste, p. 40-61. Olinda-PE, 1998.

COSTA, M. C. B. Modelagem e simulação para correlação entre as características do polietileno (PE) com as propriedades finais dos artefatos produzidos na indústria. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas-Campinas, SP, 2007.

FRASCÁ, M.H.B.O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife 2002.

FRAZÃO, E. B. 1945 – Tecnologia de rochas na construção civil / Ely Borges Frazão. - - São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

GIACONI, W.J. Perfil Atual da Indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro do Itapemirim (ES). São Paulo, 1998. 91 p. Dissertação de Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais. Universidade Estadual de Campinas.

GIORGIO, D. ; KOPPE, J. C. ; QUADROS, T. F. P. ; KLEIN, S. L. ; COSTA, J. F. C. L. Análise estrutural no planejamento de lavra de rocha ornamental. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto - Brasil, v. 56, n. 3, p. 175-179, 2003.

GODOY, L.C. **Apostila de Geologia: Mineralogia, 14p.** Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Geociências, Ponta Grossa, 2005.

KALVELAGE, M.R. **Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Granito Casa Blanca**, Dissertação (Mestrado) - Campina Grande-PB: UFPB, 2001.

LIMA, A. A. (Coordenador). **Aplicação de Tecnologia para o Aproveitamento Racional de Rochas Ornamentais na Paraíba via Projeto Cooperativo Envolvendo UFCG e UFRGS. Campina Grande, 2007.** Relatório Técnico.

LOMBADERO, M.; REGUEIRO, M. **Spanish natural stone: cladding the world industrial minerals**, London, nº 300, p-81- 97, sept., 1992.

MATTA, PAULO M. **Indústrias de Rochas Ornamentais. Rejeitos x Produção Limpa.** Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/BA, Salvador, 2003.

MELO, E. B. de ; OLIVEIRA, F. M. C. . **Escolha de Tipos texturais de Rochas e sua Aplicação.** In: III Simósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002, Recife, PE. III Simpósio de Rochas Ornamentais - Curso de rochas Ornamentais. Rio de Janeiro : CETEM/UFPE, 2002.

MENDES, V.; VIDAL, F.W.H. **Controle de Qualidade no Emprego das Rochas Ornamentais na Construção Civil.** III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife 2002.

PINHEIRO, J. R., **Manual Técnico de Fio Diamantado**, CAIMEX - Comércio Exterior Ltda, Apostila, São Paulo – SP, 2000, p. 34.

REGADAS, I.C.M.C (2006). *Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil.* Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 130 p.

REIS, R. C. **Avaliação de tecnologias de Corte em Rochas Ornamentais.** Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2001. 93p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral).

STELLIN Jr, A. & CARANASSIOS, A. **Extração de Rochas Ornamentais.** Brasil Mineral, edição 89, p. 30-34, 1991.

TAVARES, J. F. **Tecnologias de Corte em Rochas Ornamentais dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Campina Grande, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Orientador:* Aarão de Andrade Lima.

VIDAL, F.W.H. **A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de minas. São Paulo, 1995.

VIDAL, F.W.H. **Estudo do elemento Abrasivo do Fio Diamantado na Lavra de Granitos do do Ceará.** Tese de Doutorado – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo 1999, 173p.

VIDAL, F.W.H. **Estudo do elemento Abrasivo do Fio Diamantado na Lavra de Granitos do Estado do Ceará.** I SBRO/ IISRON – Salvador – BA/ Brasil, 2001.

APÊNDICE II

Apêndice II. Planilha de Cálculos para Dureza de Superfície

Tabela 18 - Planilha de Cálculos para Dureza de Superfície das Rochas Estudadas

| MATERIAL | Índices Schmidt Hammer | | | | | | | | | | Média | Dureza de Superfície |
|------------------|------------------------|------|------|----|------|----|------|------|------|----|-------|----------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| Preto São Marcos | 60 | 64 | 61 | 58 | 62 | 58 | 60 | 55 | 50 | 62 | 59 | 40,30 |
| Verde Brasil | 71 | 68 | 71 | 68 | 70 | 76 | 70 | 72 | 70 | 72 | 70,8 | 50,76 |
| Gold Fuji | 48 | 58 | 58 | 50 | 58 | 61 | 66 | 60 | 58 | 61 | 57,8 | 41,44 |
| Branco Fuji | 53 | 54 | 44 | 48 | 57 | 47 | 62 | 57 | 60 | 55 | 53,7 | 38,50 |
| Bordeaux | 50 | 54 | 52 | 62 | 54 | 50 | 52 | 66 | 62 | 62 | 56,4 | 40,43 |
| Verde Seridó | 60 | 62 | 64 | 60 | 65 | 60 | 64 | 70 | 70 | 58 | 63,3 | 45,38 |
| Verde Umurana | 66 | 72 | 66 | 67 | 67 | 68 | 67 | 64 | 66 | 67 | 67 | 48,03 |
| Macambira | 74 | 66 | 64 | 66 | 69 | 69 | 70 | 63 | 67 | 75 | 68,3 | 48,96 |
| Verde Fuji | 72 | 72 | 72 | 68 | 72 | 72 | 70 | 72 | 70 | 68 | 70,8 | 50,76 |
| Calibrador | 82 | 82,5 | 82,5 | 82 | 82,5 | 82 | 82,5 | 82,5 | 82,5 | 82 | 82,3 | |

| |
|-------------------|
| Fator de Correção |
| 0,716889429 |

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO