



Universidade Federal da Paraíba

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MODELAMENTO INFORMATIZADO DA LAVRA DE
ROCHAS ORNAMENTAIS – GRANITO CASABLANCA**

MARCOS ROBERTO KALVELAGE

Campina Grande/PB

2001

**MODELAMENTO INFORMATIZADO DA LAVRA DE ROCHAS
ORNAMENTAIS – GRANITO CASABLANCA**

MARCOS ROBERTO KALVELAGE

**MODELAMENTO INFORMATIZADO DA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS
– GRANITO CASABLANCA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas.

Área de Concentração: Lavra de Minas

Orientador: Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima

Co-Orientador: Prof. Dr. Giorgio de Tomi

Campina Grande/PB

2001



K14m Kalvelage, Marcos Roberto
Modelamento informatizado da lavra de rochas ornamentais
: granito casablanca / Marcos Roberto Kalvelage. - Campina
Grande, 2001.
91 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

1. Rochas Ornamentais 2. Lavra 3. Granito 4. Modelamento
Informatizado 5. Dissertacao I. Lima, Aarao de Andrade II.
Tomi, Giorgio de III. Universidade Federal da Paraiba -
Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 552.322(043)

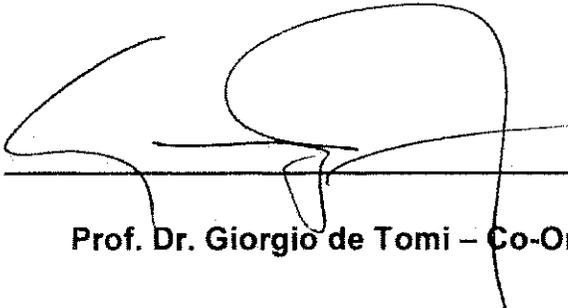
MARCOS ROBERTO KALVELAGE

**MODELAMENTO INFORMATIZADO DA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS
- GRANITO CASABLANCA**

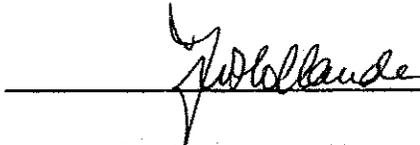
BANCA EXAMINADORA



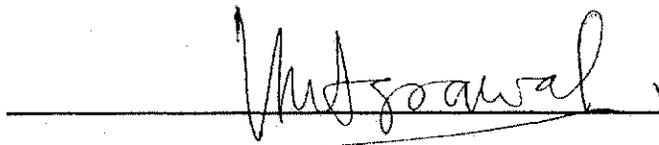
Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima – Orientador



Prof. Dr. Giorgio de Tomi – Co-Orientador



Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal



Prof. Dr. Vishwambhar Nath Agrawal

Data da apresentação pública: 15 de outubro de 2001

AGRADECIMENTOS

De maneira especial agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima, pelo acompanhamento durante todas as etapas da pesquisa.

Agradeço o apoio e dedicação dos Docentes do curso de Engenharia de Minas que participaram de minha formação; aos funcionários pelo apoio.

A empresa Granos S/A, na pessoa do seu diretor Engenheiro Francisco de Assis Gonçalves Silveira, que possibilitou que este trabalho fosse desenvolvido em uma de suas pedreiras.

Ao Prof. Dr. Giorgio de Tomi pela sua colaboração decisiva no Capítulo V. E ao colega Eng. Nelson Senhorinho Silva, na aplicação do software Datamine.

Aos meus pais, Klaus Kalvelage e Lili Althoff Kalvelage, que sempre me apoiaram, em todos os sentidos, aos meus irmãos pelo apoio.

À minha namorada Pollyana Monteiro da Silva, pelo apoio, paciência e compreensão.

Aos colegas e amigos Eng. Homero José Loureiro Sarmento, Geol. Lanusse Salin Rocha Tuma, Eng. Carlos Magno Muniz e Silva, Eng. Marinésio Pinheiro de Lima, José Sergio Abrantes Furtado e todos os demais colegas e amigos que me incentivaram e apoiaram quando precisei.

À Universidade Federal da Paraíba, especialmente ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, que me recebeu e permitiu a realização deste trabalho.

A secretária Maria do Carmelo de M. Coutinho, que contribuiu em diversos procedimentos administrativos no decorrer do curso.

À CAPES pelo apoio Financeiro.

A Deus.

Muito Obrigado a todos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TERMOS TÉCNICOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 METODOLOGIA.....	3
1.4 ABRANGÊNCIA	3
CAPÍTULO II – ASPECTOS BÁSICOS DA LAVRA DE ROCHAS	
ORNAMENTAIS	5
2.1 METODOLOGIAS DE LAVRA.....	5
2.1.1 Lavra de Matacões.....	6
2.1.2 Lavra por Painéis Verticais.....	8
2.1.3 Lavra Seletiva.....	8
2.1.4 Lavra por Desmoronamento.....	8
2.1.5 Lavra por Bancadas	9
2.1.6 Lavra Subterrânea.....	11
2.2 TECNOLOGIAS DE CORTE.....	11
2.2.1 Desmonte por Desmoronamento	11
2.2.2 Corte com Perfuração e Explosivos	12
2.2.3 Perfuração Contínua	12
2.2.4 Divisão Através de Agentes Expansivos	13
2.2.5 Divisão Mecânica Através de Cunhas.....	13

2.2.6 Fio Helicoidal.....	15
2.2.7 Fio Diamantado	15
2.2.8 Cortador a Corrente	16
2.2.9 Cortador a Corrente Diamantada	16
2.2.10 <i>Jet Flame</i>	16
2.2.11 Jato d'água	18
2.3 DISCUSSÕES SOBRE A LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	18
CAPÍTULO III – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO ESTUDO	19
3.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	19
3.2 TOPOGRAFIA DA REGIÃO	20
3.3 GEOLOGIA	21
3.3.1 Geologia Regional.....	23
3.3.2 Geologia Local	25
3.4 CLIMA, SOLO E VEGETAÇÃO.....	28
3.5 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	29
3.6 DISCUSSÕES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	29
CAPÍTULO IV – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	31
4.1 JUNTAS DO CORPO TOTAL	34
4.2 TOPOGRAFIA DA PEDREIRA.....	36
4.3 FOLIAÇÃO DO MACIÇO NA PEDREIRA PRINCIPAL.....	38
4.4 DETERMINAÇÃO DO RQD A PARTIR DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM.....	40
4.5 DISCUSSÕES SOBRE LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	47
CAPÍTULO V – APLICAÇÃO DO SOFTWARE DATAMINE AO MODELAMENTO DA PEDREIRA.....	48
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM SOFTWARE DE MINERAÇÃO	48

5.2 TRABALHOS ANTERIORES	49
5.3 CARACTERÍSTICAS DA LAVRA	50
5.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIGITAL	51
5.4.1 Digitalização do Mapa Plani-altimétrico	51
5.4.2 Criação da Superfície do Modelo	53
5.4.3 Criação do Modelo Digital do Maciço	56
5.5 MODELAMENTO DE BLOCOS	59
5.5.1 Parâmetros Utilizados	60
5.5.2 Modelamento com Cortes Horizontais	61
5.5.3 Modelamento com Cortes Inclinados	66
5.6 DISCUSSÕES SOBRE O MODELAMENTO DA PEDREIRA	69
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Lavra de Matacões.....	7
FIGURA 2 – Lavra por bancadas altas.....	10
FIGURA 3 – Lavra por bancadas baixas.....	10
FIGURA 4 – Corte por divisão mecânica através de cunha.....	14
FIGURA 5 – Jet Flame.....	17
FIGURA 6 – Localização da área em estudo: granito Casablanca.....	20
FIGURA 7 – Mapa Topográfico Local. Folha SB.24-V-D-V, Mombaça.....	22
FIGURA 8 – Detalhe do Mapa Geológico Regional.....	24
FIGURA 9 – Síntese da coluna estratigráfica.....	26
FIGURA 10 – Posicionamento das rochas plutônicas.....	26
FIGURA 11 – Detalhe da Carta Geológica Local.....	27
FIGURA 12 – Vegetação da região onde está localizada a área do estudo.....	28
FIGURA 13 – Plotagem estereográfica, diagrama de rosetas.....	35
FIGURA 14 – Plotagem estereográfica, diagrama de contorno de pólos.....	35
FIGURA 15 – Mapa plani-altimétrico pedreira granito Casablanca.....	37
FIGURA 16 – Representação da geometria das frentes em planta.....	39
FIGURA 17 – Caixa 1 do furo nº 1.....	41
FIGURA 18 – Caixa 2 do furo nº 1.....	42
FIGURA 19 – Caixa 3 do furo nº 1.....	43
FIGURA 20 – Caixa 4 do furo nº 1 (com problemas na sondagem).....	43
FIGURA 21 – Caixa 1 do furo nº 2.....	44
FIGURA 22 – Caixa 2 do furo nº 2.....	45
FIGURA 23 – Caixa 4 do furo nº 2.....	46
FIGURA 24 – Foto das frentes de lavra do granito Casablanca setor oeste.....	50
FIGURA 25 – Poligonais das curvas de nível.....	52
FIGURA 26 – Poligonais da área da pedreira após edição das curvas de nível e frentes de lavra existentes.....	53

FIGURA 27 – Vista em planta da triangulação entre os pontos das poligonais, com curvas de nível em amarelo e frentes de lavra em lilás.....	54
FIGURA 28 – Superfície do terreno digitalizado (wireframe).....	55
FIGURA 29 – Superfície do terreno (wireframe), incluindo a projeção das poligonais.....	55
FIGURA 30 – Visão das laterais, com modelo rotacionado.....	56
FIGURA 31 – Visão das três laterais, com modelo rotacionado, e visada posicionada por baixo do modelo.....	57
FIGURA 32 – Visão frontal do maciço digitalizado.....	57
FIGURA 33 – Visão do maciço.....	58
FIGURA 34 – Visão inferior do maciço.....	58
FIGURA 35 – Visão fotográfica das frentes de lavra da pedreira do Granito Casablanca.....	59
FIGURA 36 – Modelo digital do maciço, preenchido por blocos e sub blocos.....	62
FIGURA 37 – Modelo digital dos blocos e sub blocos, com remoção da superfície.....	63
FIGURA 38 – Corte do modelo digital dos blocos e sub blocos, sem a superfície e na direção 345° Az.....	63
FIGURA 39 – Modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado.....	64
FIGURA 40 – Corte do modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado (sentido aproximado N-S).....	64
FIGURA 41 – Corte do modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado (sentido aproximado E-W).....	65
FIGURA 42 – Corte horizontal do modelo digital dos blocos na cota 454m.....	65
FIGURA 43 – Modelo digital dos blocos e sub blocos inclinados.....	67
FIGURA 44 – Corte do modelo digital dos blocos e sub blocos inclinados, na direção aproximada Norte-Sul.....	67
FIGURA 45 – Modelo digital dos blocos inclinados.....	68
FIGURA 46 – Corte do modelo inclinado dos blocos, sem os sub blocos (direção aproximado Norte-Sul).....	68

LISTA DE TERMOS TÉCNICOS

- Anisotropia** – característica dos materiais de exibirem valores diferentes para suas propriedades físicas, quando estas são medidas em eixos com direções diferentes;
- Blocos** – volumes de rocha ornamental em forma de paralelepípedo com dimensões adequadas aos equipamentos de corte;
- Chapas** – são porções de pequena espessura, geralmente 2 ou 3cm, serradas a partir dos blocos;
- Depósito Mineral** – conjunto de materiais sólidos acumulados na crosta terrestre, suscetíveis ou não de aproveitamento econômico;
- Jazida** – ocorrência de minerais constituindo um depósito natural que existe concentrado em certos pontos da superfície do globo terrestre (GUERRA & GUERRA, 1997), apresentando viabilidade econômica;
- Maciço rochoso ou Maciço** – porção de rocha caracterizada sobre um ponto de vista geomecânico;
- Mina** – é o depósito mineral (jazida) em fase de lavra (GUERRA & GUERRA, 1997);
- Pastilha** – subdivisão primária de rocha ornamental retirada do maciço, da qual, são retirados os blocos;
- Pedreira** – jazida de onde se extraem rochas para construção civil em geral ou particularmente rochas ornamentais (mármore, granitos, ardósias, quartzitos, etc).

RESUMO

O objetivo primário desta dissertação, consiste na verificação das condições de aplicação de um software de modelamento de blocos, já com largo e comprovado uso no modelamento de depósitos minerais e de minas em operação, para o caso específico de um granito ornamental — o Granito Casablanca, localizado no Estado do Ceará. Subsidiariamente, o trabalho tem o objetivo de revisar e consolidar as técnicas para coleta e análise de dados geológicos e geotécnicos relevantes à atividade de extração de granitos ornamentais, por meio de um estudo de caso. A pesquisa envolveu as etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados em campo, análise de dados, implementação em computador e interpretação. A revisão bibliográfica engloba: aspectos gerais da lavra de rochas ornamentais; geologia e outras características da área envolvendo a pedra escolhida para o estudo; e acerca de pesquisas anteriores centradas na aplicação de programas voltados à modelagem de depósitos de rochas ornamentais. A coleta e análise de dados na área da pedra envolveram levantamento plani-altimétrico e medição minuciosa da foliação do maciço por medições feitas nas frentes de lavra. Fraturas subverticais foram levantadas e plotadas na área de concessão, não havendo entretanto sido detectadas na área da pedra. Fraturas de alívio não foram incorporadas ao modelo por falta de afloramentos na época dos levantamentos de campo. A fase de implantação em computador consistiu na digitalização da topografia da área da pedra. Foi então, realizado o modelamento da reserva da pedra com blocos em dimensões adequadas aos teares da Empresa (3,30m por 1,90m por 1,60m), usando o aplicativo DATAMINE. Foi realizado um modelo com corte horizontal dos blocos, resultando em uma reserva de 19.201 blocos (78% de recuperação), tendo sido consideradas como estéril as partições da rocha na periferia do modelo que não atingem as dimensões padronizadas. Um segundo modelo simulou blocos cortados a um ângulo de 32° em relação à horizontal, segundo a foliação da rocha, resultando em 19.571 blocos (81% de recuperação). É importante enfatizar que a reserva aqui calculada será reduzida, tendo em vista os defeitos sempre presentes na rocha, ocasionando o descarte de blocos desprovidos de valor comercial para uso como rocha ornamental. O modelo usando um plano de corte inferior inclinado para os blocos poderá ser útil naqueles maciços apresentando anisotropia ou fraturas não horizontais, tratando-se de uma das contribuições da presente pesquisa. Com o cálculo da reserva de blocos e visualização da pedra em diversas opções de saída gráfica, fica completa a fase de interpretação de dados. Como sugestão para trabalhos futuros podemos mencionar: acompanhamento e simulação do avanço da lavra, com controle de diferentes variedades de rocha originadas de uma mesma pedra; acompanhamento de reserva de blocos calculados pelo software em comparação com os blocos de valor comercial retirados, obtendo-se assim uma estimativa da recuperação da lavra; modelamento da pedra com divisão em pastilhas, como fase anterior à modelagem de blocos; e incorporação de propriedades físicas e petrográficas como variáveis regionalizadas objetivando o modelamento geoestatístico.

ABSTRACT

The primary objective of this dissertation is the assessment of a software widely used in modelling mineral deposits and mines, in the specific field of a dimension stone granite quarry – the Casablanca granite, which is located in the Ceara State, Brazil. Moreover, employing a case study, the research has the purpose of reviewing and consolidating some techniques for collecting and analysing geologic and geotechnical data which are important for the extraction of dimension stone granites. The research involved the following steps: reviewing the literature; collecting and analysing field data; feeding of data into the software; and interpretation of the output generated by the software. The literature review encompasses: general aspect of quarrying of dimension stones; geology and other characteristics of the area where the quarry is located; and previous works related to computerized modelling of dimension stone deposits and quarries. Gathering and processing data of the quarry area consisted in an altimetric surveying and preparation of a map. Also, the determination of the attitude of the rock mass foliation was carried out using measurements on the quarry faces. Fractures exhibiting high dips have been surveyed and plotted for the whole area of the deposit; however, in the specific site of the main quarry those fractures were not detected. Relief fractures of sub horizontal nature have not been incorporated into the model because few outcrops were available during the time when the field work was conducted. The stage of computer implementation consisted in the digitalization of the quarry topography. The modelling of the quarry reserve was then performed, adopting rock blocks having dimensions suitable to the Company gangsaws, (3.30m by 1.90 by 1.60). DATAMINE software was used for the block modelling. In the first model, the base of the rock blocks was considered to be cut horizontally, yielding 19,210 blocks, representing a 78% gross recovery of the reserve. The rock portions located at the boundaries of the model, which did not meet the standard block sizes, have been automatically considered as waste rock. A second model simulated blocks cut at a plane having a 32° angle with respect to the horizontal plane, following the dip of the rock foliation. That model resulted in 19,571 blocks, corresponding to a recovery of 81%. It is important to emphasize that the block reserves calculated here will be decreased during the real operation because of the defects that always exist in rocks, resulting in the rejection of blocks lacking commercial value for application as ornamental rock. The second model, which used a plane inclined with respect to the horizontal plane as the base for cutting the blocks, may be useful for modelling those deposits having non horizontal anisotropy, or relief fractures. This procedure represents one of the major contributions of this research. The output of the software comprises the calculation of reserves and graphic visualization of the deposit and the quarry, including the block models. The following recommendations are made for further research: following up and simulating mining advance, keeping track and controlling different varieties of rock, which may be originated from a given quarry; maintaining an account of the blocks modelled from the use of the software, in comparison with those blocks having commercial value, thereby generating a report on the actual recovery of the quarry reserves; modelling the quarries in rock portions larger than blocks, as a pre-planning stage; and finally, in a future stage, incorporating physical and petrographic characteristics of the rock as regionalized variables, seeking the application of geostatistical tools.

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

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

O aspecto acima mencionado motivou a escolha do tópico desta pesquisa, com base na necessidade de conhecimento das diversas características da rocha do ponto de vista ornamental em distribuição espacial.

Trata-se de um estudo prático, com as limitações normais, do ponto de vista de escala geométrica, precisões e representatividade dos dados a serem colhidos do maciço rochoso, bem como das restrições impostas por uma exploração comercial.

O esforço em aplicar-se técnicas modernas, originadas com a popularização das ferramentas da informática, contrapõe-se ao empirismo puro.

Considerável esforço técnico operacional e investimento, são necessários para caracterização de uma pedreira de rocha ornamental. É prática comum na atividade mineral, de uma forma geral, a utilização apenas parcial de dados, quando não é usada uma representação gráfica de uma forma versátil que possibilite uma visualização imediata das características da jazida.

Os softwares especializados para modelamento de depósitos minerais e de minas, passaram a ter aplicações práticas nas últimas duas décadas. Custos decrescentes, com facilidade de operação e aumento de versatilidade e de desempenho, tem ocorrido vertiginosamente nos últimos anos tanto para equipamentos como para programas de computador.

A presente dissertação, foi motivada considerando a disponibilidade de avançados programas de computador para modelagem da lavra em operações de jazidas e minas convencionais, conjugada à necessidade de uma maior difusão da técnica na área de rochas ornamentais.

Os modelos de blocos normalmente usados na discretização de um corpo mineral, tem uma conotação vinculada á disponibilidade de dados e aspectos matemáticos e computacionais. Por outro lado, no contexto de rochas ornamentais, os blocos devem assumir de fato as dimensões padronizadas, respeitando-se também aspectos geológicos (foliação, juntas, fraturas, etc.), bem como inclinação dos blocos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo primário desta dissertação, consiste na verificação das condições de aplicação de um software de modelamento de blocos, já com largo e comprovado uso no modelamento de depósitos minerais e de minas em operação, para o caso específico de um granito ornamental – o Granito Casablanca.

Subsidiariamente, o trabalho tem o objetivo de revisar e consolidar as técnicas, para coleta e análise de dados geológicos e geotécnicos relevantes à atividade de extração de granitos ornamentais, por meio de um estudo de caso.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa envolveu as etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados em campo, análise de dados, implementação em computador e interpretação.

A revisão bibliográfica engloba aspectos gerais da lavra de rochas ornamentais, geologia e outras características da área, envolvendo a pedreira escolhida para o estudo, e acerca de pesquisas anteriores centradas na aplicação de programas voltados à modelagem de depósitos de rochas ornamentais.

A fase de coleta de dados compreende a determinação de atitude de fraturas no corpo total, em escala de prospecção, da topografia da pedreira em escala de lavra, e da medição de ângulos relacionados à foliação da rocha.

A análise de dados consistiu na aplicação de programa de projeções estereográficas para individualizar conjuntos de juntas, bem como no desenvolvimento e aplicação de uma planilha para a determinação precisa da direção e mergulho da foliação da rocha.

A fase de implantação em computador, consistiu na digitalização da topografia da área da pedreira. Foi então, realizado o modelamento da reserva da pedreira com blocos em dimensões comerciais, usando o aplicativo DATAMINE.

Com o cálculo da reserva de blocos e visualização da pedreira em diversas opções de saída gráfica, fica completa a fase de interpretação de dados.

1.4 ABRANGÊNCIA

A dissertação está inserida no contexto geral de estudo de caso, com verificação sobre a generalização da aplicação de um programa para modelamento de jazida mineral e mina, ao caso mais específico de uma pedreira de granito ornamental.

A abordagem ficou restrita ao caso de uma pedreira de porte médio em fase de desenvolvimento.

A possibilidade de acompanhamento da evolução da pedreira ao longo do seu desenvolvimento, não foi realizada devido à distância e à não atualização da base de dados por parte da empresa.

Dados minuciosos sobre a geologia e geomecânica do maciço, apesar de serem relevantes ao desenvolvimento da pedreira, não foram considerados aqui, tendo em vista não estarem disponíveis na ocasião do estudo, pois a pedreira se encontrava em fase inicial de desenvolvimento, dispondo-se de apenas dois furos de sondagem a diamante.

O Capítulo II, revisa aspectos básicos da lavra e técnicas de corte, atualmente em uso para rochas ornamentais, tendo sido aqui inseridos para tornar a dissertação mais completa.

As características geográficas e geológicas da região onde se situa a pedreira, são apresentadas no Capítulo III.

O Capítulo IV enfoca a coleta e análise de dados sobre sistema de juntas na jazida como um todo, topografia, foliação e RQD na pedreira.

No Capítulo V são comentadas as contribuições de pesquisas anteriores ao tema central da dissertação, passando-se então à apresentação da seqüência, para criação do modelo digital da pedreira. São apresentados os resultados do modelamento de blocos e cálculos de reserva, considerando tanto blocos horizontais como inclinados; passando-se então à discussão dos resultados.

No Capítulo VI são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos de pesquisas futuras.

CAPÍTULO II

ASPECTOS BÁSICOS DA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Para um entendimento do tema da presente pesquisa, é relevante que seja feita uma revisão geral sobre lavra de rochas ornamentais. No presente Capítulo, a expressão rochas ornamentais, se refere apenas a mármore e granitos.

A lavra de rochas ornamentais tem o objetivo de 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 que privilegiem o melhor aproveitamento das reservas existentes.

2.1 METODOLOGIAS DE LAVRA

Os métodos de lavra, definem a seqüência espacial e temporal de operações e ciclos de trabalho para o aproveitamento da jazida, que por sua vez, é subdividida em volumes e subvolumes, projetados e organizados de modo a obedecer a uma ordem hierárquica no desenvolvimento da lavra do bem mineral (ALENCAR *et al.*, 1996).

A aplicação de método de lavra para uma determinada jazida, permite em qualquer instante do seu desenvolvimento, a definição da geometria espacial da mina em todas as suas peculiaridades. A primeira operação consiste na identificação e na quantificação dos volumes, sendo em seguida, determinada a seqüência de lavra.

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

A escolha do método de lavra depende ainda de uma análise econômica-financeira da jazida, considerando também a capacidade de investimento da empresa. Os diferentes métodos requerem diferentes volumes de investimento para aquisição de equipamentos e desenvolvimento da jazida, o que pode influir decisivamente na seleção de um método de lavra.

2.1.1 Lavra de Matacões

Para ALENCAR *et al.* (1996), o método de lavra de matacões é ainda largamente utilizado nos países em desenvolvimento, principalmente na faixa tropical, onde existem matacões de grandes dimensões, sendo alguns pouco afetados por fenômenos de alteração, dependendo das características da rocha.

O método é bastante simples, exigindo pouco investimento inicial em equipamentos para o desenvolvimento da pedreira, podendo ser operado com mão de obra pouco especializada. Geralmente, a porção de rocha destacada do corpo principal, é dividida em duas partes, mediante o emprego de pólvora negra, em um furo central localizado no plano preferencial de separação da rocha. As duas porções de rocha são posteriormente subdivididas e esquadrejadas no próprio local (Figura 1).

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, tendo porém, fortes restrições quanto à quantidade, qualidade e uniformidade do material.

A lavra de maciço proporciona melhor controle de qualidade e melhores taxas de recuperação. É importante observar, que uma parte importante da produção brasileira de granito é ainda derivada da lavra de matacões.

Segundo CHIODI FILHO (1995), a lavra de matacões resulta em grande impacto paisagístico e danos consideráveis ao meio ambiente.

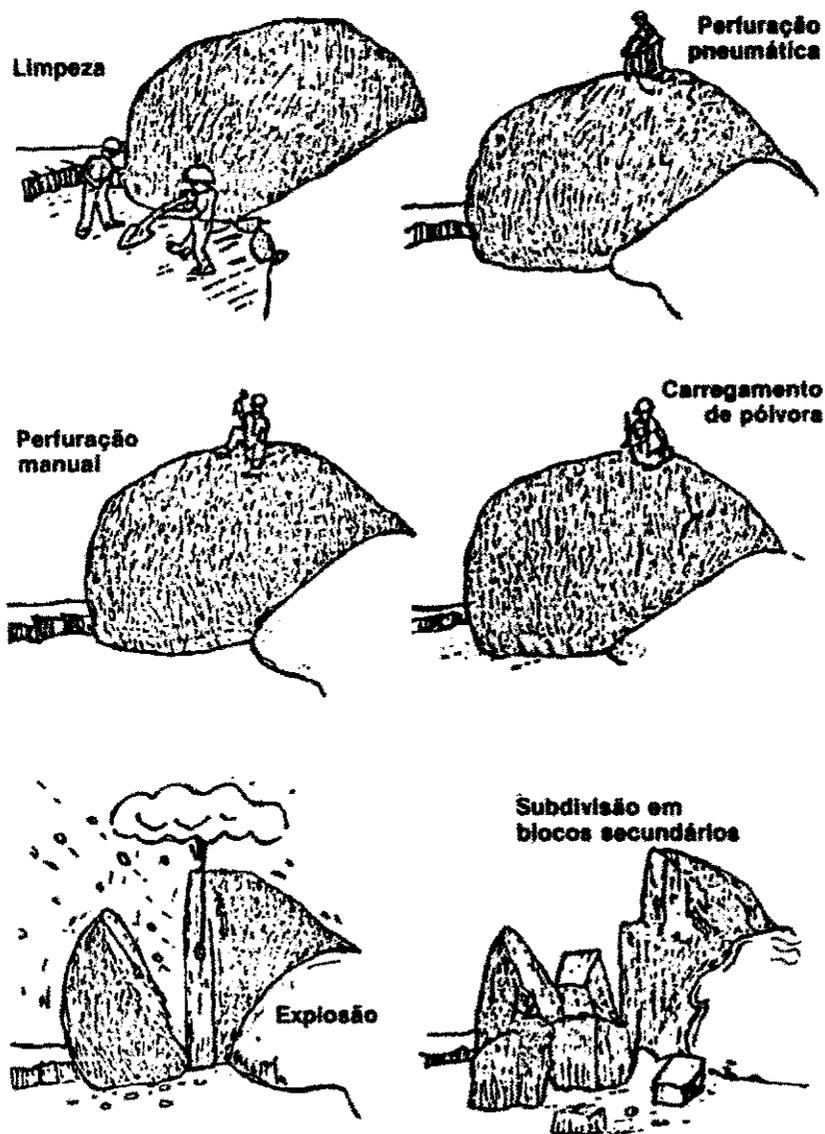


FIGURA 1 – Lavra de Matacões.
FONTE: STELLIN & CARANASSIOS (1991).

2.1.2 Lavra por Painéis Verticais

Trata-se de um método de lavra, adotado nas fases iniciais da abertura da pedreira e também nos casos onde é permitido o desenvolvimento em profundidade, devido à limitação da reserva, ou devido a particulares condicionamentos da jazida (ALENCAR *et al.*, 1996).

CICCU & VIDAL (1998), dizem que dessa forma, a extensão da área dos painéis é relativamente grande, o que permite uma boa seletividade, descartando-se as porções da rocha com qualidade inferior.

No projeto de lavra, a jazida é subdividida em painéis verticais, cuja espessura coincide com uma das dimensões do bloco comercial. Na sua parte inferior, os painéis são delimitados pela cota da praça e, de acordo com a superfície topográfica, sua altura será variável em relação ao perfil dos afloramentos.

2.1.3 Lavra Seletiva

O método de lavra seletiva, aplica-se freqüentemente, nos casos onde o maciço a ser lavrado apresenta como característica principal, diferentes tipos de fraturas com orientação principal, preferencialmente ortogonais. Dessa maneira, dois sistemas de fraturas podem ser aproveitados como planos naturais de separação de porções rochosas, onde através de cortes complementares, consegue-se liberar blocos de dimensões adequadas para a realização das operações de recorte e esquadreamento (ALENCAR *et al.*, 1996).

2.1.4 Lavra por Desmoronamento

Para CICCU & VIDAL (1998), a lavra por desmoronamento, é um método aplicado para os casos em que a rocha apresenta-se sob a forma de prismas delimitados por falhas e planos de estratificação subverticais, conjugados esses

fatores a uma topografia de forte aclave. Neste caso, o desmonte é realizado através de explosivos, com perfuração em forma de leque na base da bancada. Após a detonação do leque os prismas delimitados por fraturas naturais tombam, e são então esquadrejados em forma de blocos.

Com o advento de técnicas de corte especializadas, e de uma crescente sensibilização para a proteção dos valores ambientais, este método registrou um gradual desinteresse, sendo sua aplicação limitada a casos raros.

2.1.5 Lavra por Bancadas

Na lavra por bancadas, a jazida é subdividida em praças ou níveis, que constituem em planos horizontais subparalelos. As bancadas são lavradas obedecendo a uma determinada seqüência lógica e hierárquica, utilizando-se as praças para a realização dos trabalhos de extração das diferentes frentes de produção. O método de lavra por bancadas, normalmente é adotado nas fases avançadas da mesma, quando a pedreira assume configurações geométricas regulares, com altura de bancadas uniformes.

Este método de lavra permite adotar módulos organizativos eficientes (CICCU & VIDAL, 1998). Além disso, o método possibilita operar com praças articuladas sobre diversas frentes de avanço, de modo a compensar eventuais deficiências qualitativas da rocha ou ainda para adaptação de maneira rápida, aos níveis de produção desejados.

A lavra por bancadas é classificada em bancadas altas ou bancadas baixas, de acordo com os detalhes realçados abaixo.

A solução de bancadas altas, normalmente altura maior que 8 metros, permite otimizar as operações de seleção através de duas ou mais fases sucessivas de subdivisão. Os cortes primários efetuados no maciço, delimitam volumes de grandes dimensões, em forma de paralelepípedos, os quais são chamados pastilhas. As pastilhas são subdivididas sucessivamente, com cortes secundários, efetuados nas operações de esquadrejamento, obtendo-se assim, os blocos de rocha com as dimensões comerciais, sendo o esquema do método

mostrado na Figura 2. As chamadas dimensões comerciais são o comprimento, largura e altura dos blocos que se adequam aos equipamentos de serragem (teares ou talha blocos), otimizando sua operação.

De uma forma simplificada, o método de bancadas baixas, consiste na extração de blocos com uma de suas dimensões coincidindo com o plano de corte horizontal ou sub-horizontal adotado na pedreira. O método é mostrado esquematicamente na Figura 3.

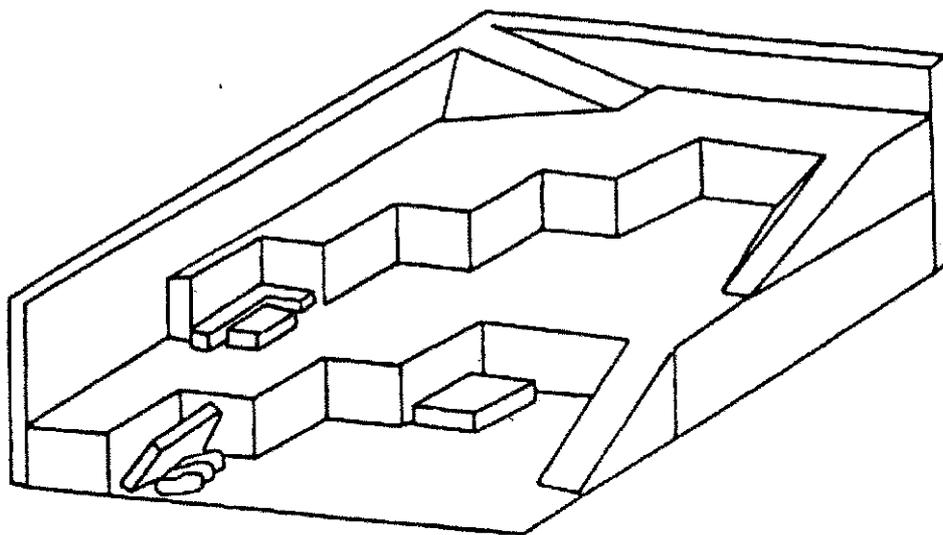


FIGURA 2 – Lavra por bancadas altas.
FONTE: VIDAL (1995).

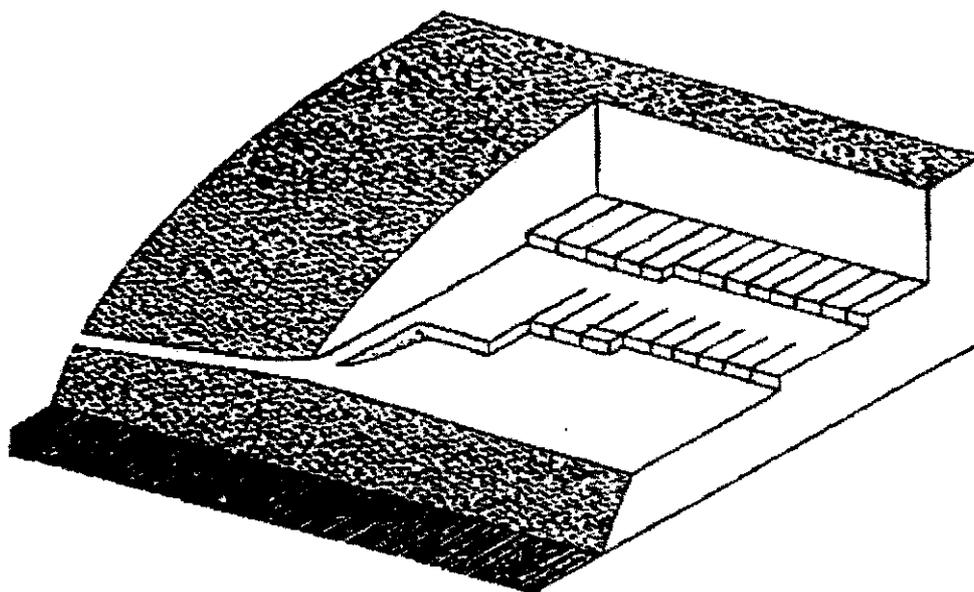


FIGURA 3 – Lavra por bancadas baixas.
FONTE: CICCU (1993).

2.1.6 Lavra Subterrânea

Segundo CICCUC & VIDAL (1998), este método é realizado através da criação de espaços subterrâneos, denominados salões, sustentados por pilares. O método vem sendo utilizado predominantemente nas rochas carbonatadas, particularmente nos mármore, da região de Carrara, Itália, para material de alto valor comercial. O método é promissor para jazidas tubulares aflorantes em encostas íngremes, para rochas com preço elevado.

2.2 TECNOLOGIAS DE CORTE

Diversas técnicas estão disponíveis para subdividir a rocha nas diversas etapas da lavra. Essas técnicas estão agrupadas em cíclicas e contínuas. Nas técnicas cíclicas são usados furos, explosivos, agentes expansivos e cunhas. Já nas técnicas contínuas são usados fios, correntes, chama e jato d'água para o corte da rocha. Nas técnicas contínuas o equipamento de corte é normalmente posicionado uma única vez para efetuar o corte completo de uma face da rocha.

As tecnologias de corte representam um dos aspectos na lavra de rochas ornamentais. Em uma mesma pedreira, é comum o uso combinado com mais de uma técnica de corte, em diferentes etapas da lavra. Segue-se um sumário das técnicas de corte atualmente em uso.

2.2.1 Desmonte por Desmoronamento

Segundo DUARTE (1998), o desmonte por desabamento ou desmoronamento consiste na detonação de um plano de fraqueza ou plano de fratura do jazimento. Este desmonte é descontrolado, impossibilitando um grande corte, seja vertical ou horizontal. Esse método é deficiente porque, após o

desmonte da parte liberada ou individualizada, a extração é predatória com alta geração de estéril; podendo, devido a isto, tornar-se inviável.

Esta técnica, é aplicável nos casos de jazidas localizadas em zonas montanhosas de encostas íngremes e caracterizadas pela presença de sistemas de fraturas ou planos de estratificação subverticais que delimitam prismas de rochas destacáveis do corpo principal, através da simples execução de um corte na base (BORTOLUSSI, 1988).

2.2.2 Corte com Perfuração e Explosivos

Esta técnica de corte, baseada na utilização de explosivos carregados em furos dispostos próximos entre si e que definem um plano de corte, encontra-se muito difundida, sendo de certa forma preferida por algumas empresas voltadas para a produção de blocos (ALENCAR *et al.*, 1996). Devido a sua versatilidade de execução e custos normalmente inferiores, suplantam as técnicas alternativas, para o caso de pedreiras com produção baixa ou média, sendo entretanto, restrita a maciços de alta resistência.

Para DUARTE (1998), o desmonte com detonação controlada, constitui-se no desmonte em dois planos perpendiculares, com detonações simultâneas. Os planos podem ser: um vertical, com um plano horizontal ou dois planos verticais. A eficiência da técnica depende da presença de faces livres existentes nas bordas. As faces livres podem ser geradas, naturais, ou de origem mista.

2.2.3 Perfuração Contínua

A perfuração contínua, constitui-se em uma técnica baseada na perfuração sem uso de explosivos, apresentando atualmente ótimos níveis de eficiência; e compreende a execução de furos justapostos, de modo a criar um

plano de ruptura contínuo, ou interrompido de aberturas suficientemente fracas, para permitir um fácil destaque por tração. A necessidade de um paralelismo com planaridade dos furos, impõe limites evidentes ao comprimento do corte no sentido da furação.

Para DUARTE (1998), essa técnica implica na adoção de equipamentos sofisticados e específicos para talho contínuo, conhecidos como *slot drill*. O talho contínuo, consiste na furação lado-a-lado de modo que, entre um furo e outro, exista um espaçamento normalmente igual ao diâmetro do furo.

2.2.4 Divisão Através de Agentes Expansivos

A técnica que emprega o uso de agentes expansivos, é utilizada na maioria dos casos, diretamente sobre os blocos, embora demonstre poucas possibilidades de sucesso devido à lentidão de sua ação associada atualmente a um elevado custo (ALENCAR *et al.*, 1996).

DUARTE (1998) relata o mecanismo de utilização e de funcionamento da seguinte forma: após a perfuração, é definido um plano de corte; os furos são preenchidos com uma polpa de argamassa expansiva e água de porcentagem de sólidos variável, o que determina o tempo de expansão do produto. Na expansão, o nível de tração de confinamento é superior ao de tração da rocha granítica, o que promove a ruptura.

2.2.5 Divisão Mecânica Através de Cunhas

Para ALENCAR *et al.* (1996), o corte por divisão mecânica através de cunhas, se baseia no uso da perfuração e constitui uma das técnicas mais amplamente adotadas. Utiliza os dispositivos com cunhas, responsáveis pelas

operações de subdivisão da rocha de acordo com planos pré-estabelecidos, geralmente aqueles preferenciais de orientação dos minerais.

Segundo DUARTE (1998), no Brasil o desmonte por cunhas é usado como auxiliar de outros métodos principalmente com cunha mecânica (Figura 4). O princípio básico de operação é o de traquirar a rocha, seguindo uma direção preferencial, através de cunhas. O que possibilita a ruptura de planos, com o uso de cunhas, é o baixo nível de tração da grande maioria das rochas carbonáticas e graníticas. É um método de baixo custo operacional, porém, de baixa produtividade. Tem grandes limitações nos cortes horizontais de levante; e necessita de grande perfuração com brocas, para auxílio e enfraquecimento dos planos.

CICCU & VIDAL (1998), diz que esta técnica possui emprego principalmente nas operações finais para obtenção dos blocos comercializáveis, ou ainda nas operações de recuperação de blocos na lavra de matacões.

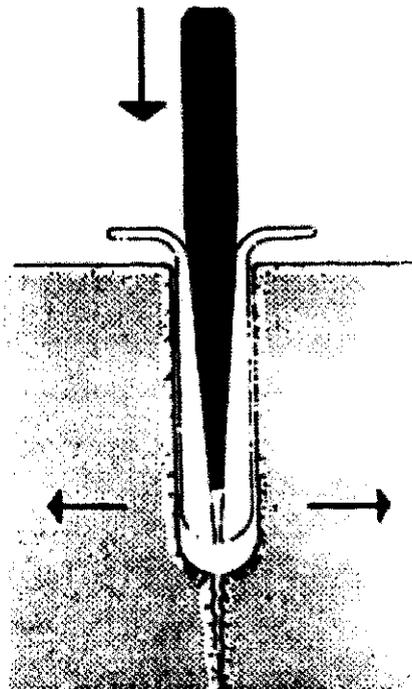


FIGURA 4 – Corte por divisão mecânica através de cunha.

FONTE: STELLIN & CARANASSIOS (1991).

2.2.6 Fio Helicoidal

O fio helicoidal, consiste em uma cordoalha de dupla hélice onde se consegue carrear areia e ou outros abrasivos granulados como agentes abrasivos cortantes (DUARTE, 1998). O fio é o agente transportador e é sempre alimentado com água e com agentes cortantes, de modo a manter sua temperatura baixa, evitando a fadiga e a conseqüente ruptura.

A tecnologia de corte helicoidal, é considerada hoje obsoleta, encontrando utilização ocasional somente em alguns países em desenvolvimento, que possuem dificuldade de absorver técnicas de corte mais modernas (ALENCAR *et al.*, 1996).

2.2.7 Fio Diamantado

Segundo ALENCAR *et al.*, 1996), a tecnologia de corte com fio diamantado, a partir da sua introdução nas pedreiras de materiais calcários, realizou progressos notáveis. Na última década, verifica-se o seu uso progressivo, em substituição à tecnologia dominante no passado recente, substituindo o uso do fio helicoidal. De fato, a tecnologia de corte com fio diamantado apresenta maior produtividade, requer menos mão-de-obra operacional, bem como um tempo de instalação de equipamento nitidamente inferior, geralmente resultando em menor custo total por metro quadrado de corte.

O fio diamantado é constituído por um cabo de aço, que funciona como suporte para as pérolas diamantadas, as quais são separadas ao longo do cabo por molas metálicas, no caso das rochas brandas, ou por material plástico ou borracha, para as rochas abrasivas. A pérola é constituída por um elemento cilíndrico de metal duro à base de tungstênio, impregnado com cristais de diamante industrial.

2.2.8 Cortador a Corrente

Esta técnica, consiste em uma corrente dentada que gira na periferia de uma estrutura que direciona o corte. Para rochas menos tenazes, utiliza-se dentes de metal duro. Para material mais duro, arredonda-se os dentes, diminuindo o seu comprimento para aumentar a robustez (DUARTE, 1998).

Para ALENCAR *et al.* (1996), o comprimento do "braço" (que é a estrutura que direciona o corte), representa uma limitação quanto à altura ou profundidade do corte, sendo sua aplicação indicada para jazidas cujo nível de fratura é baixo, de modo a não prejudicar o rendimento das bancadas isoladas.

2.2.9 Cortador a Corrente Diamantada

DUARTE (1998), afirma que, no Brasil, esse sistema não é utilizado; sendo, no entanto, largamente adotado na Itália, em jazidas de mármore. O mecanismo é idêntico ao sistema de corte por corrente dentada, com a diferença que os dentes de metal duro são substituídos por peças diamantadas.

2.2.10 *Jet Flame*

Segundo CICCU & VIDAL (1998), o princípio da tecnologia *jet flame* ou *flame jet* de corte consiste em uma câmara de combustão, na qual são inseridos simultaneamente o comburente (ar ou oxigênio) e o combustível (querosene ou óleo diesel) neutralizado, que proporciona uma chama análoga àquela produzida pelo maçarico oxacetilênico. A temperatura de saída do gás, varia de 1200-1300°C, ou mais, no caso da utilização de oxigênio como comburente.

O processo de corte na rocha, consiste na desagregação causada pela elevada temperatura que promove a dilatação diferencial dos minerais, que por estarem confinados, não podem expandir-se livremente. Ocorre, assim, o rompimento da rocha de acordo com as superfícies dos cristais.

DUARTE (1998), ressalta que a técnica tem mais sucesso em rochas com grande teor de sílica, e pouco sucesso nos materiais com grande incidência de biotita, ou com a presença de concentrações de quartzo suscetíveis à fusão e vitrificação. Os cortes verticais são realizados com perfeição técnica; enquanto os horizontais, não são perfeitos. As desvantagens são: acidentes com fogo e calor, excesso de ruído, limite de profundidade pela extensão da haste do maçarico, elevado custo operacional e alteração da rocha de 10 a 30 cm de cada lado do corte. A Figura 5 é uma representação esquemática dessa técnica de corte.



FIGURA 5 – Jet Flame.

FONTE: Modificado de STELLIN & CARANASSIOS (1991).

2.2.11 Jato d'água

Nesse tipo de desmonte igualmente conhecido como *Water jet*, é utilizada uma bomba de pressão acoplada a uma haste como se fosse um talha-blocos convencional (DUARTE, 1998). É pouco usado pelo fato de ser um desenvolvimento recente. O mecanismo de corte, consiste em fragmentar a rocha em partículas do tamanho aproximado dos grãos minerais, de acordo com os planos de fraqueza entre cristais de diferentes minerais, como também por micro fraturas existentes nos cristais.

Segundo CICCUI & VIDAL (1998) e BOTTOLUSSI *et al.* (1988), atualmente, o corte com a tecnologia de jato d'água de alta pressão, vem sendo utilizado progressivamente em escala industrial em vários segmentos do setor de rochas ornamentais, já existindo casos de pedreiras nos Estados Unidos, Canadá, França e Itália, que deixaram de operar a nível experimental, passando a operar em escala industrial. Existem equipamentos de *water-jet* fabricados na Itália, França e Estados Unidos.

2.3 DISCUSSÕES SOBRE A LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

No presente Capítulo foram apresentados de forma resumida seis métodos de lavra e dez técnicas de corte. É comum em uma mesma pedreira a adoção de métodos de lavra e tecnologias de corte diferentes, de acordo com as características dos diferentes setores da jazida. As tecnologias de corte mencionadas são adequadas para a divisão do maciço em setores, pastilhas e blocos, em volumes de rocha decrescentes. Maiores detalhes sobre este importante tema estão disponíveis nas diversas citações bibliográficas.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO ESTUDO

Visando conferir uma maior consistência ao presente texto, a área de estudo é aqui caracterizada no que se refere à localização da jazida e da pedreira, sua topografia, geologia regional e geologia local. Alguns aspectos da geografia física e sócio-econômicos são também mencionados.

3.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O corpo do granito Casablanca, está localizado próximo à Vila de Tróia, município de Pedra Branca, no Estado do Ceará, situando-se aproximadamente nas coordenadas geográficas de latitude $5^{\circ}18'49''S$, longitude $39^{\circ}32'43''W$ (coordenadas UTM , zona 24, 398765E, 9389454N), com declinação magnética de cerca de $22^{\circ}W$.

Partindo de Fortaleza, o acesso é feito pela BR-020, percorrendo-se aproximadamente 220 Km até o município de Boa Viagem, conforme Figura 6. Na mesma BR-020, percorre-se aproximadamente mais 50 Km. Segue-se então por uma estrada vicinal no sentido Leste para Pedra Branca. Após 12 Km segue-se por uma bifurcação à direita desta vicinal até a Vila de Tróia. A pedreira do granito Casablanca, se localiza a aproximadamente 1 Km antes da Vila de Tróia.

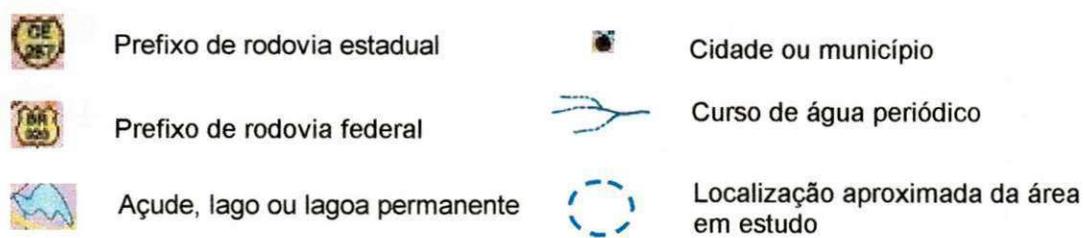
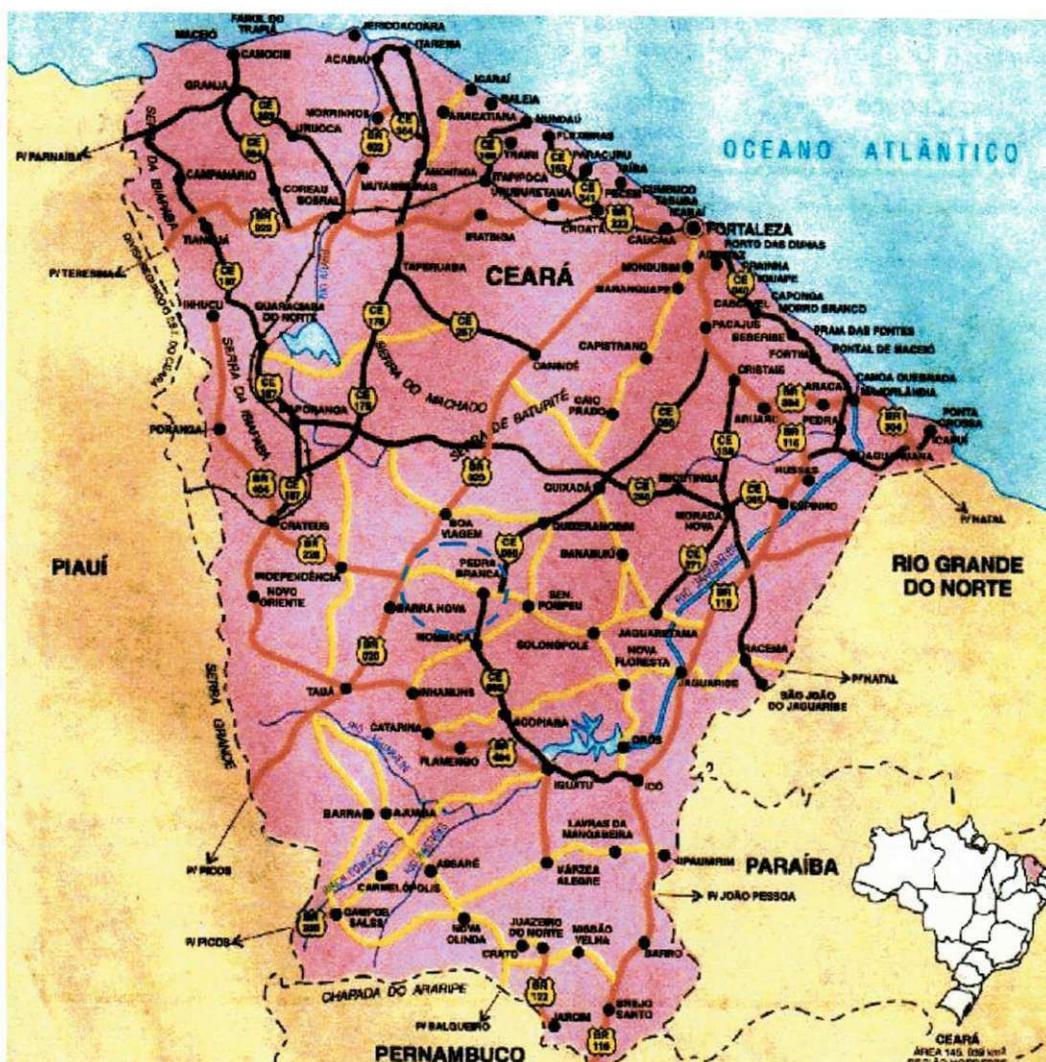


FIGURA 6 – Localização da área em estudo: granito Casablanca.
 FONTE: CEARATUOR (1999. Escala 1:3.500.000).

3.2 TOPOGRAFIA DA REGIÃO

Em linhas gerais, a jazida do granito Casablanca, está inserida em uma serra alongada de sentido SW–NE, com extensões aproximadas de 6 e 1,5 Km nos sentidos longitudinal e transversal, respectivamente.

A base da serra encontra-se delineada pela curva de nível de cota 500m, realçada na Figura 7. O cume da serra atinge a cota 695m, evidenciando portanto, um acentuado gradiente topográfico.

A pedreira principal, estudada na presente pesquisa, está localizada no flanco noroeste da serra, a uma cota aproximada de 450m, conforme mostrado na Figura 7.

3.3 GEOLOGIA

Visando situar de uma forma simplificada o corpo granítico em um contexto geológico, foram pesquisados mapas nas escalas 1:500.000 e 1:100.000, elaborados pela CPRM (1983;1991). Sumários daqueles trabalhos para o local específico da pedreira do granito Casablanca, são apresentados em seguida, havendo sido rotulado aqui, como geologia regional e geologia local. Algumas observações de campo referentes à geologia em escala de pedreira, foram agrupados no capítulo IV.

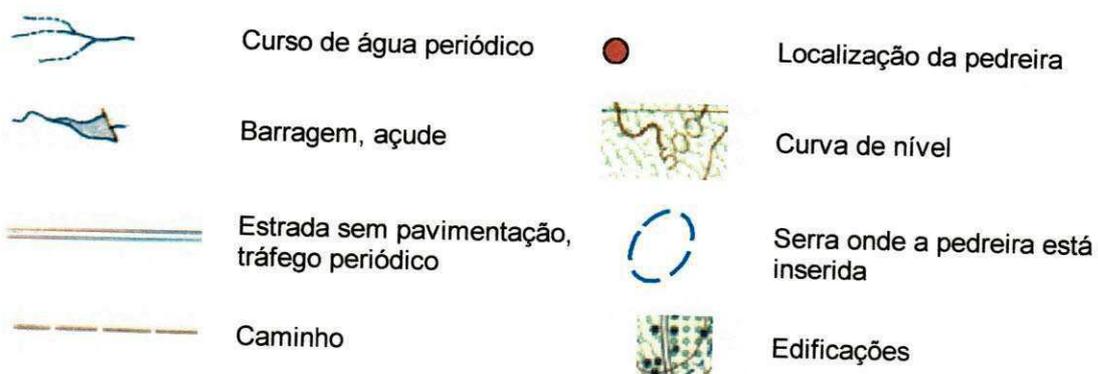
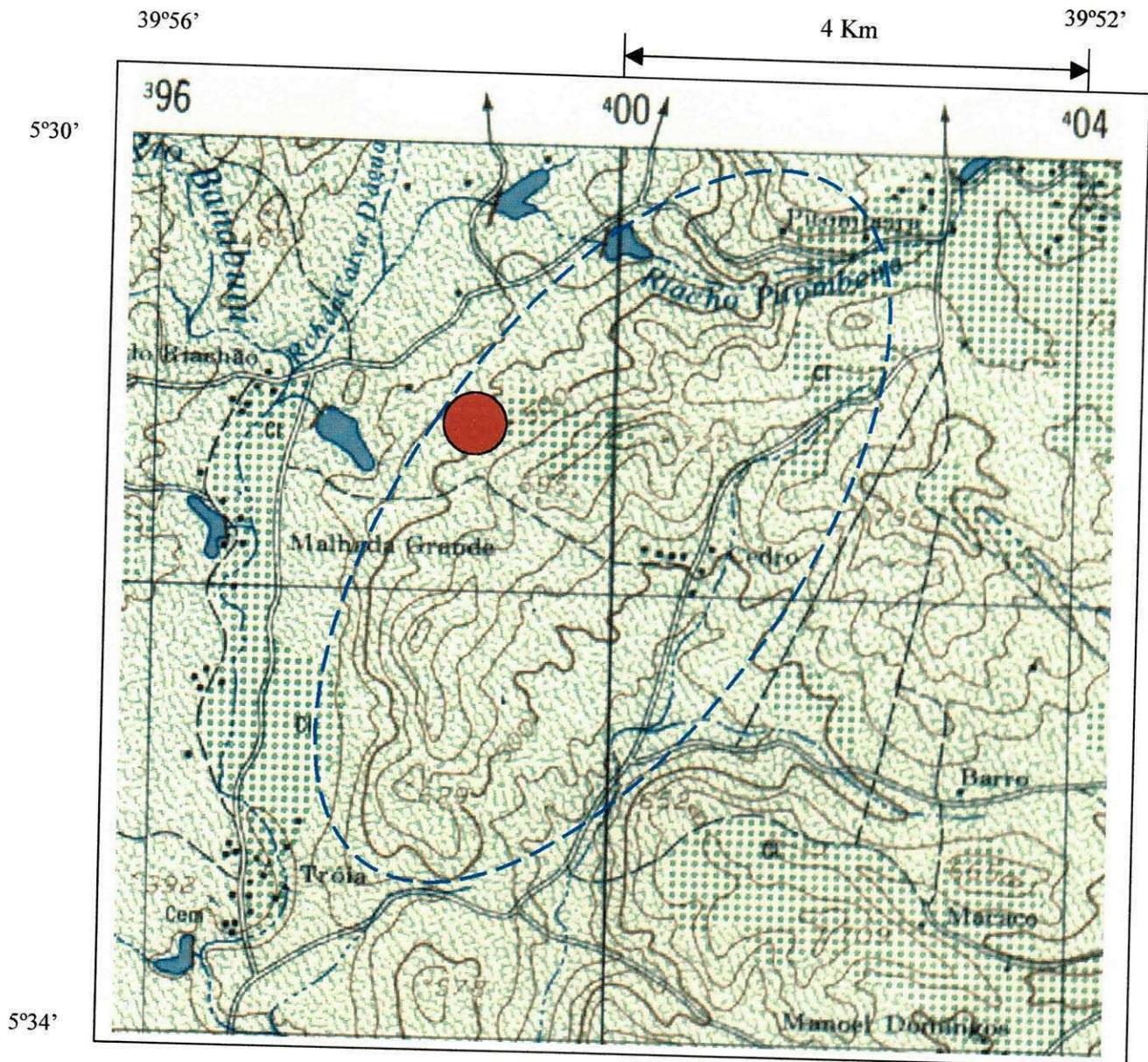


FIGURA 7 – Mapa Topográfico Local. Folha SB.24-V-D-V, Mombaça.
 FONTE: Sudene (1988, escala 1:100.000)

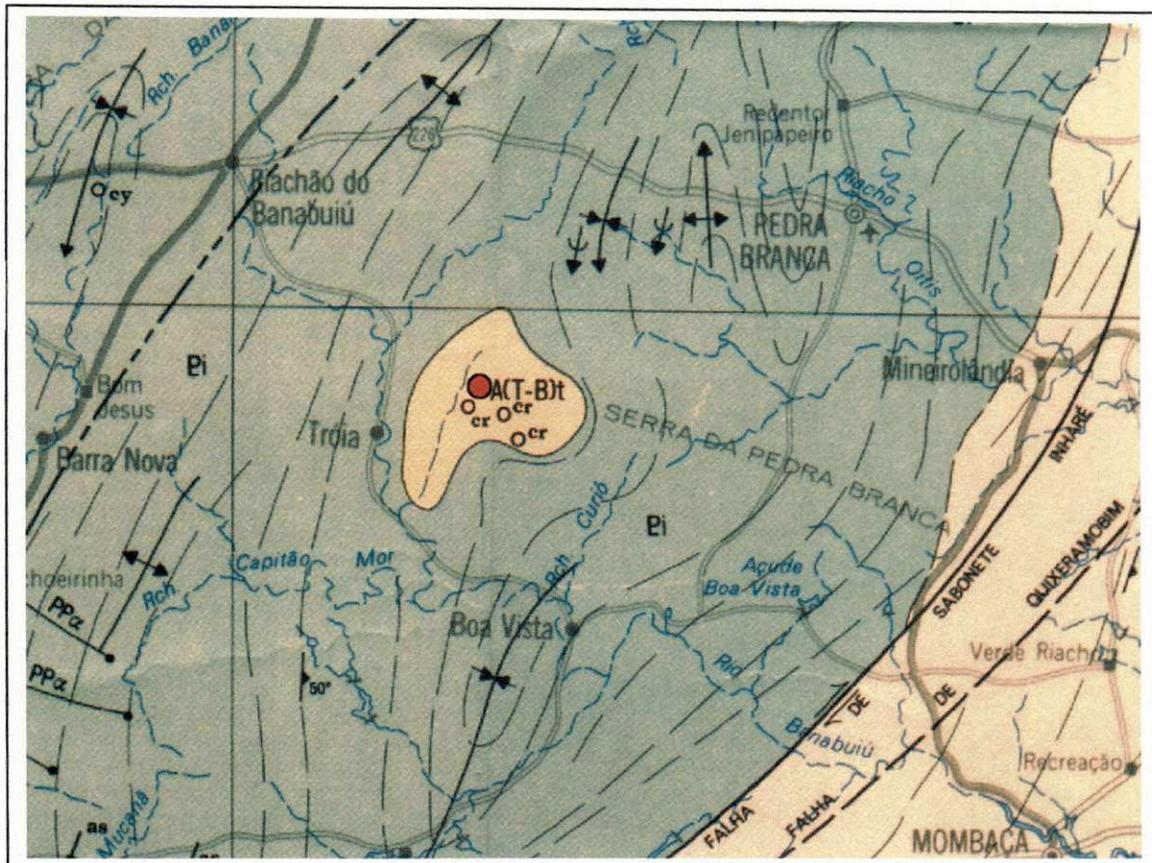
3.3.1 Geologia Regional

Com base no mapa escala 1:500.000, CPRM (1983), a área da pedreira do granito Casablanca, está indicada na Figura 8. A litologia está caracterizada por Leptinitos Tróia. Leptinitos, são rochas constituídas essencialmente, de quartzo e feldspato, podendo conter um pouco de mica. Nos leptinitos, aparecem ainda como minerais acessórios, em pequena quantidade a apatita, o distênio, o rutilo, a turmalina, etc. (GUERRA & GUERRA, 1997). O termo leptinito tem origem francesa, correspondendo ao termo granulito.

Na região, delineou-se um conjunto de rochas magmáticas essencialmente granitóides e secundariamente gabróides, no geral pouco deformadas, que formam corpos de dimensões variadas (diques-sheets, stocks e batólitos), por vezes formando edifícios complexos (ex.: Granitóides Quixeramobim), cujos posicionamentos cronológicos foram efetuados em relação ao desenvolvimento das deformações transcorrentes do Proterozóico Superior (OLIVEIRA, 1993). Assim, os granitóides considerados como pré-transcorrência (Ply1), representados pela Unidade Cedro, são marcados por uma trama tectônica de movimentos tangenciais que antecede às estruturas de transcorrência. Esses granitóides são rochas leucocráticas, constituídas, basicamente, de quartzo, feldspato, muscovita, (+) biotita, (+) granada e (\pm) magnetita, às vezes portando xenólitos do Complexo Cruzeta e chegando a se mostrarem em jazimentos do tipo sheet. Quimicamente, os granitóides (Ply1) são de natureza crustal, fortemente contaminados, redutores e alcalinos.

40°00'

5°30'



A(T-B)t – Arqueano, Leptinitos de Tróia;
Pi – Proterozóico inferior, Complexo Independência;

● - localização da pedreira

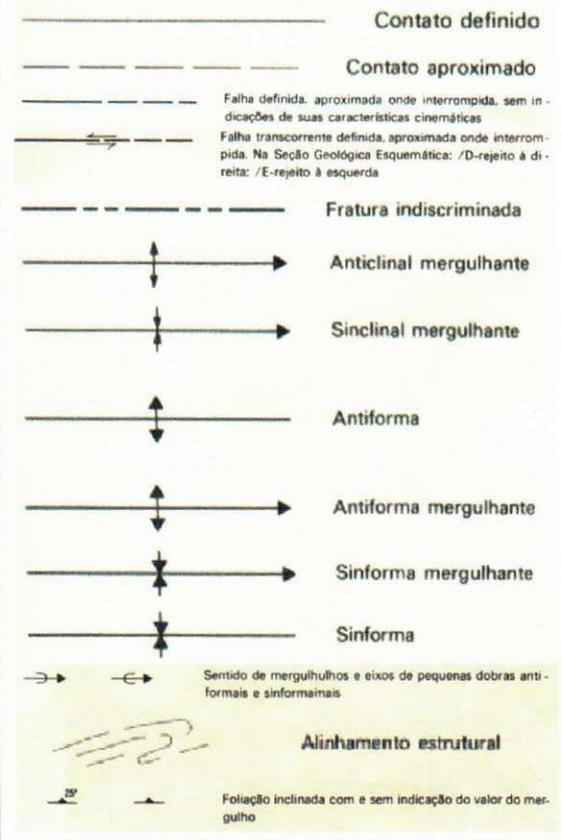
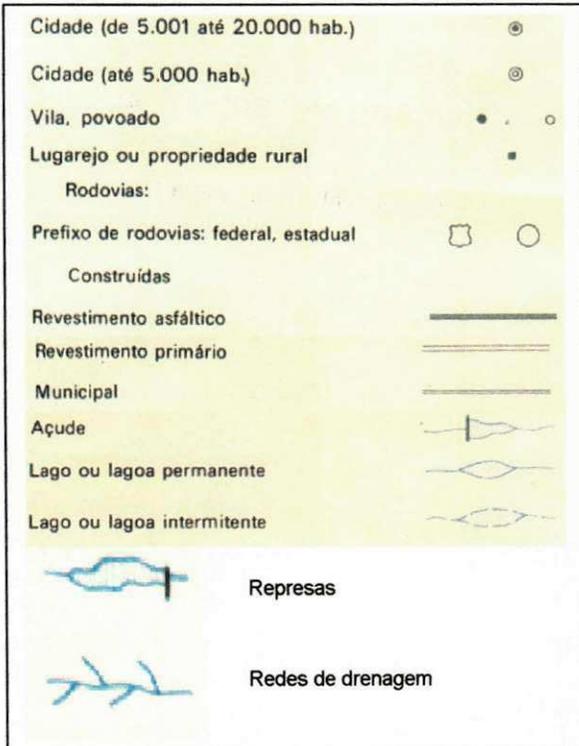


FIGURA 8 – Detalhe do Mapa Geológico Regional.
FONTE: CPRM (1983. Escala 1:500.000).

3.3.2 Geologia Local

De uma maneira geral, a área apresenta predominância de ortognaisses leucocráticos com ocorrências locais de metaultrabasitas (serpentinito e tremolita-clorita-talco-xisto) cromita, fazendo parte da unidade litoestratigráfica dos Leptinitos de Tróia (OLIVEIRA, 1993). A coluna estratigráfica, está detalhada na Figura 9; e o posicionamento das rochas plutônicas, na Figura 10.

Na unidade litoestratigráfica denominada Cedro (Ply1) está localizado o granito Casablanca. Conforme mostrado nas Figuras 9 e 11, a unidade Cedro está posicionada no Proterozóico Inferior, sendo sua descrição petrográfica dada na Figura 10; ou seja: Muscovita-granito, granodiorito e quartzo-monzonito, por vezes granatíferos e com fácies a magnetita.

A rocha da pedreira, segundo VIDAL (1999), trata-se de um biotita-monzogranito, exibindo processo de metassomatismo para um muscovita monzogranito. Observa-se ainda neste corpo, um maciço aparentemente íntegro, porém, com elevado nível de tensões naturais.

Trata-se de um corpo granítico, intrusivo, com forma elíptica, com aproximadamente 30m de altura, topo abaulado e restrito com encosta relativamente íngreme.

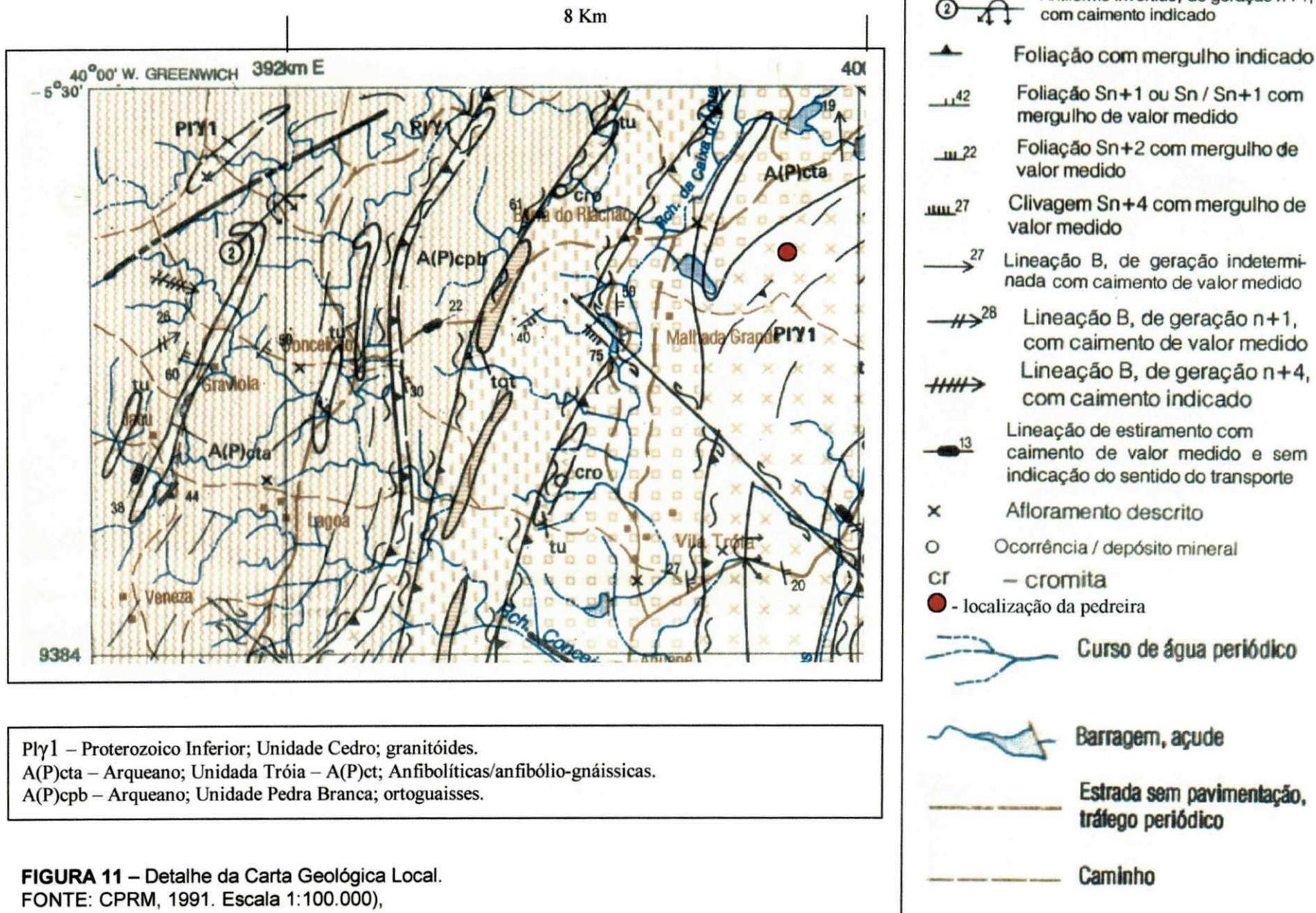
A área de estudo, compreende uma pequena porção situada no flanco de uma serra. Trata-se de um local com escassez de drenagem, com cursos de direção preferencial NE-SW e secundariamente NW-SE.

Tipo de Terreno/ Domínio Litoambiental		Unidade Cronoestratigráfica		Unidade Litoestratigráfica	
ROCHAS FILONIANAS		FANEROZÓICO	MESOZÓICO	Sem denominação (Mδdb - diques básicos; Mypx - diques ultrabásicos)	
			CAMBRIANO	Sem denominação (θεγ - diques ácidos)	
ROCHAS PLUTÔNICAS		PROTEROZÓICO	SUPERIOR	Sem denominação (Pδ - diques metamáficos; Py - diques metaultramáficos)	
				Sem denominação (Pδgb - gabro norito)	
Suíte Magmática Cangati (PSy4)					
Granitóides Quixeramobim (PSy3B)					
Sem denominação (granitóides PSy3A e PSy3B)					
SUPRACRUSTAIS E INFRAESTRUTURA COM INCLUSÃO DE EMBASAMENTO/DOMÍNIO MARINHO-PLATAFORMAL E DE ORTOGNAISSES SÓDI-POTÁSSICOS			INFERIOR	Unidade Cedro (Ply1)	
		Complexo Ceará (Plc)			
		Unidade Serra do Papagaio (Plsp)			
EMBASAMENTO DOMÍNIO DE GNÁISSES SÓDI-POTÁSSICOS DOMÍNIO DE GNÁISSES CALCI-SÓDICOS DOMÍNIO PLUTONO-VULCANOS-SEDIMENTAR		ARQUEANO	Complexo Gnássico-Migmatítico (Aplgn: Subunidade Acopiara-Hebron- Aplgna; Subunidade Catarina-Trçu- Aplgnc)		
			Unidade Mombaça [A(P)m]		
			COMPLEXO CRUZETA	Unidade Pedra Branca [A(P)cpb: Subunidade Bananeiras A(P)cpb]	
				Unidade Tróia [A(P)ct]	

FIGURA 9 – Síntese da coluna estratigráfica
FONTE: OLIVEIRA (1993)

P r o t e r o z o i c o	S u p e r i o r	Granitóides tardi- após-transcorrência	PSy4	Biotita-granito e biotita-granodiorito, por vezes orientados.
		Granitóides cedo- a sintranscorrência	PSy3C	Quartzo-monodiorito e suas respectivas fácies tectônicas.
			PSy3B	Granito, granodiorito e tonalito, gnaissificados e suas respectivas fácies porfíricas.
			PSy3A	Ortognaisses graníticos e granodioríticos facoidais e milonitizados (augen-gnaisses).
	Inferior	Granitóides pré- a cedotangencial	Ply1	Muscovita-granito, granodiorito e quartzo-monzonito, por vezes granatíferos e com fácies a magnetita.
Posicionamento duvidoso	Gabróides	Pδgb	Gabro-norito	

FIGURA 10 – Posicionamento das rochas plutônicas
FONTE: OLIVEIRA (1993).



3.4 CLIMA, SOLO E VEGETAÇÃO

A região é caracterizada por um clima quente, semi-árido, com chuvas que se estendem até o outono, cujas taxas anuais de evaporação são sempre maiores que as de precipitação. As temperaturas mostram valores com médias mensais de 25 a 26°C, nos meses mais frios, e 30 a 35°C nos meses mais quentes, verificadas em dias de outubro e novembro (OLIVEIRA, 1993).

Na região, predominam solos quimicamente ricos; porém, pouco espessos, visto que as condições climáticas não auxiliaram a decomposição da rocha juntamente com a matéria orgânica. Neste caso, encontram-se os solos oriundos da Unidade Tróia, especialmente da sua porção metabásica.

A vegetação é constituída predominantemente, por caatinga xerófila de pequeno e médio porte, envolvendo cactáceas e tipos arbustivos-arbóreos, entremeados restritamente por tipos florestais representativos da caatinga arbórea densa, mostrada na Figura 12.



FIGURA 12 – Vegetação da região onde está localizada a área do estudo.

3.5 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A área próxima à pedreira, expõe um quadro sócio-econômico empobrecido e castigado pelos fatores climáticos adversos, consubstanciada pela escassez e má distribuição de chuvas.

A economia, em seu setor primário, consiste de uma agricultura rudimentar aquecida pelos períodos chuvosos, marcados pelo cultivo de algodão, feijão e milho. Na pecuária, tem-se criação de bovinos e, em taxas reduzidas, caprinos e suínos.

Ao setor primário, soma-se um incipiente extrativismo mineral, com restritos fornos para o fabrico de cal, além de algumas pedreiras de granito.

À época do desenvolvimento deste trabalho, o Município de Pedra Branca, tinha uma população de aproximadamente 37.000 habitantes. A área total do município é de 1.290,2 Km², resultando em densidade demográfica de cerca de 28,7 hab/km².

3.6 DISCUSSÕES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

Neste Capítulo foram fornecidos dados sobre a região onde se encontra a pedreira, passando pela localização e vias de acesso, no Estado do Ceará, até topografia da área de concessão. O local da pedreira foi posicionado na Folha Mombaça, produzida pela SUDENE (1998).

A área foi também caracterizada do ponto de vista geológico, sendo identificada a unidade litoestratigráfica Cedro, do Proterozóico Inferior, como portadora da rocha (muscovita granito, granodiorito e quartzo monzonito) de onde é lavrado o granito Casablanca.

Com o sentido de complementar a caracterização da área (da área), foram fornecidas informações concisas sobre o clima, solo, vegetação e aspectos sócio-econômicos do município de Pedra Branca.

CAPÍTULO IV

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Um aspecto crucial à extração de rochas ornamentais, consiste na coleta e análise de dados de campo. De uma forma geral, os programas de computador comercialmente disponíveis na atualidade, têm facilitado substancialmente a análise de dados, reduzindo o trabalho de gabinete e aumentando a facilidade de interpretação dos resultados. O esforço maior deve então, concentrar-se na obtenção de dados representativos do maciço rochoso e da rocha, em quantidade e qualidade suficientes para alimentar os programas de computador. Devido às limitações de tempo e de recursos, a coleta e análise de dados de campo empreendido na presente pesquisa, ficou restrita ao mínimo necessário, à validação da metodologia aqui seguida.

É recomendável que a extração de rochas ornamentais seja precedida das seguintes fases básicas: prospecção, que consiste na localização ou identificação de ocorrência de rochas potencialmente favoráveis e pesquisa mineral, que consiste na avaliação da jazida, com base no levantamento e análise de dados para um melhor planejamento da lavra, seguido do diagnóstico sobre viabilidade da jazida.

De uma forma geral, a caracterização de uma rocha ornamental envolve a determinação e avaliação de diversas características tecnológicas (FRAZÃO & FARJALLAT, 1996; VIDAL, 1995). Paralelamente também é importante a caracterização geológica da jazida em escala de pedreira (1:100 a 1:1000). As

técnicas tradicionais disponíveis para caracterização de depósitos minerais (fotogeologia, geologia de campo, petrografia, geofísica, sondagem, etc.) devem ser adaptadas, no sentido de atender aos requisitos específicos das rochas ornamentais, incluindo-se aqui, a necessidade de integridade dos blocos, que geralmente induz a uma baixa recuperação da jazida.

Um aspecto particular sobre a extração de rochas ornamentais consiste na necessidade da extração de blocos, já na fase de pesquisa, com o desenvolvimento de algumas frentes.

Esse aspecto induz a riscos e custos adicionais inerentes ao setor de rochas ornamentais, sendo no entanto, importante para a definição de viabilidade de uma rocha.

COURRIER (1960), propõe uma metodologia de aplicação geral para prospecção e pesquisa de jazidas e de pedreiras de rochas ornamentais, baseada na definição das seguintes características:

Características gerais:

- localização do depósito;
- tamanho da pedreira (aproximado);
- formação geológica e nome comercial;
- história da operação.

Características geológicas:

- distribuição da formação;
- posicionamento estratigráfico;
- densidades da formação e da parte lavrável;
- classificação da litologia e sua descrição;
- descrição da petrografia e sua classificação;

- origem da ocorrência e sua forma;
- principais elementos estruturais: dobras, fraturas e sistemas fraturas , incluindo: juntas (atitudes, distribuição, espaçamento), falhas (atitude, deslocamento, largura), etc.;
- relação dos contatos com outras formações;
- textura e estrutura: variações, relação com outras características;
- clivagem: planos naturais de divisão , relação com outras feições geológicas;
- veios e diques: natureza, distribuição, atitude, relação com outras feições;
- inclusões e segregações: distribuição e natureza.

Características industriais:

- classificação, semelhanças com outras rochas comerciais;
- topografia;
- condições de acesso;
- facilidade de trabalho, elementos estruturais;
- viabilidade da rocha, produção e polimento;
- cor e outros padrões estéticos;
- reservas.

Por tratar-se de uma contribuição importante, porém antiga, a metodologia proposta por COURRIER (1960) deve ser complementada, levando-se em consideração avanços ocorridos em métodos de lavra, tecnologias de corte, conhecimento geológico, existência de softwares, bem como aspectos mercadológicos e principalmente características e ensaios tecnológicos das

rochas ornamentais. Os fatores econômicos financeiros e ambientais são também de grande relevância na fase de pesquisa da jazida.

No presente trabalho, os dados coletados podem ser classificados inicialmente por escala. As áreas de concessão do granito Casablanca, estão grosseiramente delimitadas pela cota 450m, realçada na Figura 7. Naquela área, foi realizado trabalho de reconhecimento de afloramentos e medições de atitude de juntas. Na área da pedreira principal, também indicada na Figura 7, foram realizados trabalhos de topografia, determinação de atitude da foliação e cálculo de RQD (Rock Quality Designation), a partir de testemunhos de sondagem.

No local da pedreira, juntas subverticais são muito raras, não justificando portanto, esforço para seu mapeamento. Foi detectada uma fratura de alívio persistente. Não foi possível entretanto, definir o posicionamento dessa feição no maciço em forma tri-dimensional, tendo em vista, limitações dos dados topográficos e de afloramento da mesma, na época da realização dos trabalhos de campo.

Nas seções a seguir, são descritos os dados que foram coletados e analisados.

4.1 JUNTAS DO CORPO TOTAL

Foi realizado levantamento exploratório com bússola e GPS, nos principais afloramentos da área de concessão. Após plotagem em projeção estereográfica dos dados coletados, foram identificadas duas famílias de fraturas sub verticais, com as seguintes atitudes:

- Família f1, dominante, azimute 125° (ou 305°);
- Família f2, secundária, azimute 55° (ou 235°), como pode ser constatado nas Figuras 13 e 14.

Existem outras famílias subsidiárias de menor importância para o tema desta pesquisa.

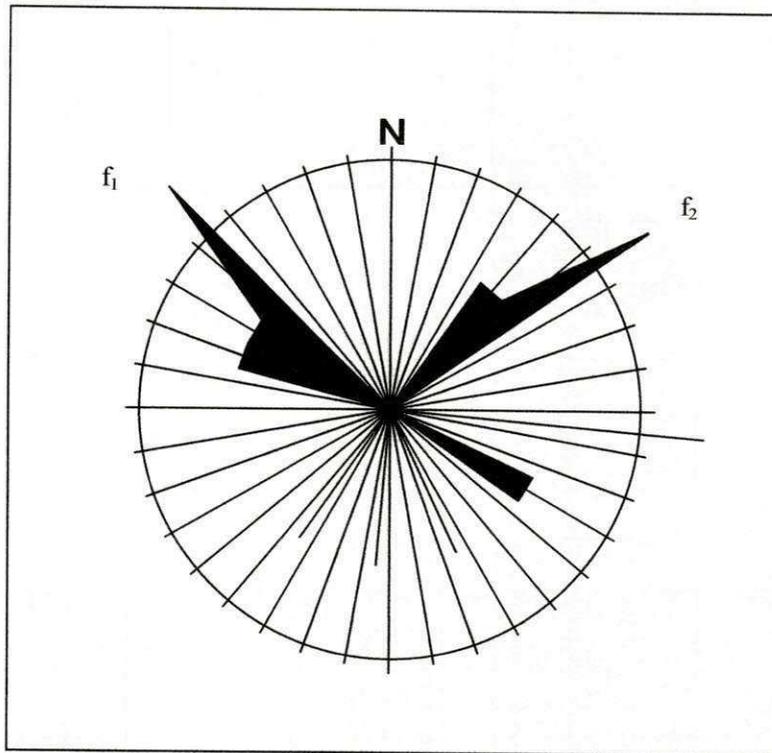


FIGURA 13 – Plotagem estereográfica, diagrama de rosetas.

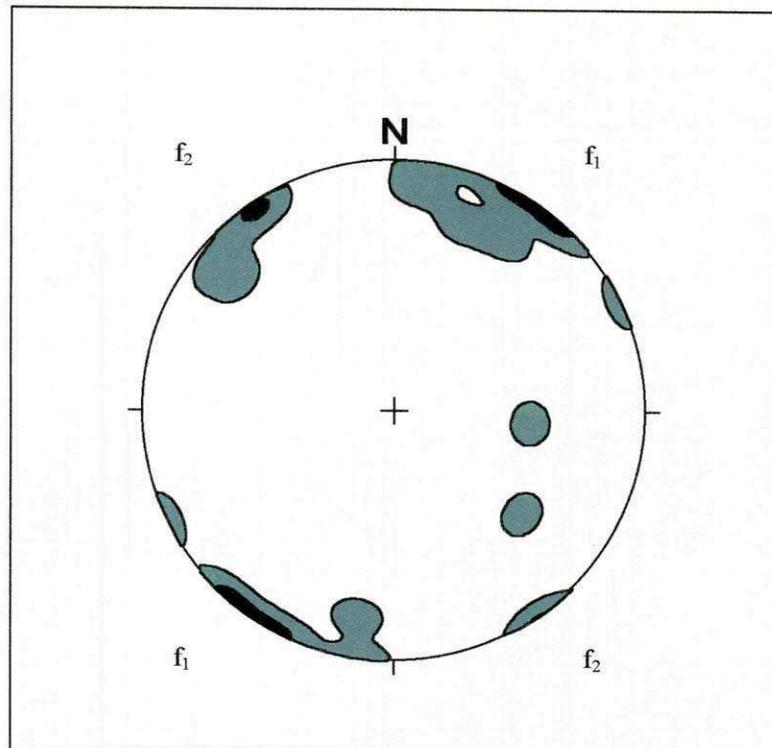


FIGURA 14 – Plotagem estereográfica, diagrama de contorno de pólos.

Observa-se, que as duas famílias estão bem definidas, apontando para uma gênese por tectonismo regional. Essa tendência para duas famílias bem definidas, ficou constatada já na fase de coleta de dados de campo.

Nos afloramentos com topografia íngreme foram observadas algumas fraturas de alívio ou de acebolamento.

4.2 TOPOGRAFIA DA PEDREIRA

Dois levantamentos de curvas de nível da pedreira, realizados um com nível laser e outro com teodolito, foram considerados. Os dados foram então agrupados, compatibilizados e digitalizados, resultando no mapa plani-altimétrico mostrado na Figura 15. Na época dos levantamentos topográficos (Novembro de 1999), a pedreira encontrava-se paralisada, com duas frentes que haviam sido desenvolvidas anteriormente, conforme mostrado em azul, na Figura 15.

A atualização das bancadas desenvolvidas até março de 2000, foi então, feita com bússola e trena, sendo as medições inseridas na base topográfica, resultando no modelo que é mostrado nas diversas figuras do Capítulo V.

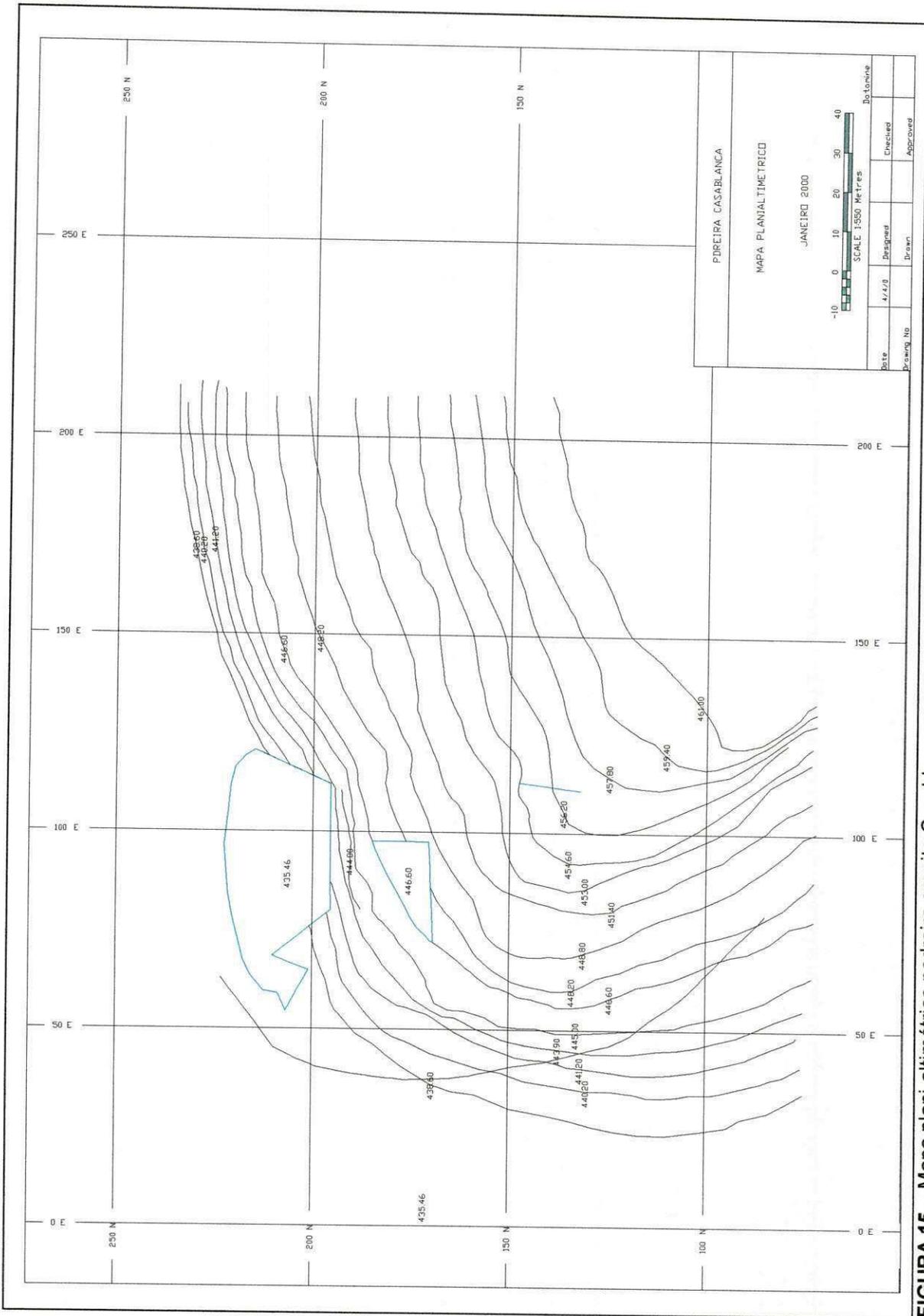


FIGURA 15 – Mapa plani-altimétrico pedreira granito Casablanca.

4.3 FOLIAÇÃO DO MACIÇO NA PEDREIRA PRINCIPAL

A foliação, é a feição geológica mais importante para a extração de granitos ornamentais na maioria das pedreiras. Ela determina um dos planos naturais de partição da rocha, influenciando decisivamente na forma de corte e liberações de blocos. Adicionalmente, a foliação governa a estética e as propriedades físicas do granito, após o desdobramento de bloco em chapas.

O granito Casablanca exibe uma foliação bem definida; no entanto, de difícil medição por ser movimentado. Assim, foi dada atenção especial a esse aspecto na presente pesquisa.

Antes da abertura de uma pedreira, os afloramentos possibilitam a medição da foliação, usando bússola. Nesse caso, a dificuldade para a medição do mergulho verdadeiro, fica evidenciada, por não estarem disponíveis cortes ou faces naturais perpendiculares à foliação da rocha (LOCZY & LADEIRA, 1976). Adicionalmente, a pequena escala considerada com o uso de bússola, reduz a precisão dos ângulos medidos. Recomenda-se aqui, o método estatístico de medições em diversas frentes, com a adoção de um valor médio como representativo da foliação do maciço. O cálculo de valores de direção e mergulho verdadeiros, a partir de valores aparentes, está sistematizado no Anexo 1, cujas equações desenvolvidas, estão implementadas em planilha eletrônica (ANDRADE LIMA, 2000).

A determinação da direção e mergulho da foliação, podem ter sua precisão consideravelmente refinada, após a abertura de uma frente de lavra em uma pedreira. Nesse caso, os valores aparentes de direções e mergulho medidos com bússola em duas faces da rocha, possibilitam um cálculo mais preciso. Opcionalmente, é possível medir os comprimentos das interseções, seguindo um mesmo plano de foliação, com os eixos formados pelos três planos ortogonais de corte da rocha (dois verticais e um horizontal), obtendo-se com esse método, uma precisão significativa, da ordem de um grau.

Na época em que foram executados os levantamentos de campo, estavam abertas seis frentes no granito Casablanca, conforme indicado na Figura 16, que representa a geometria das frentes em planta.

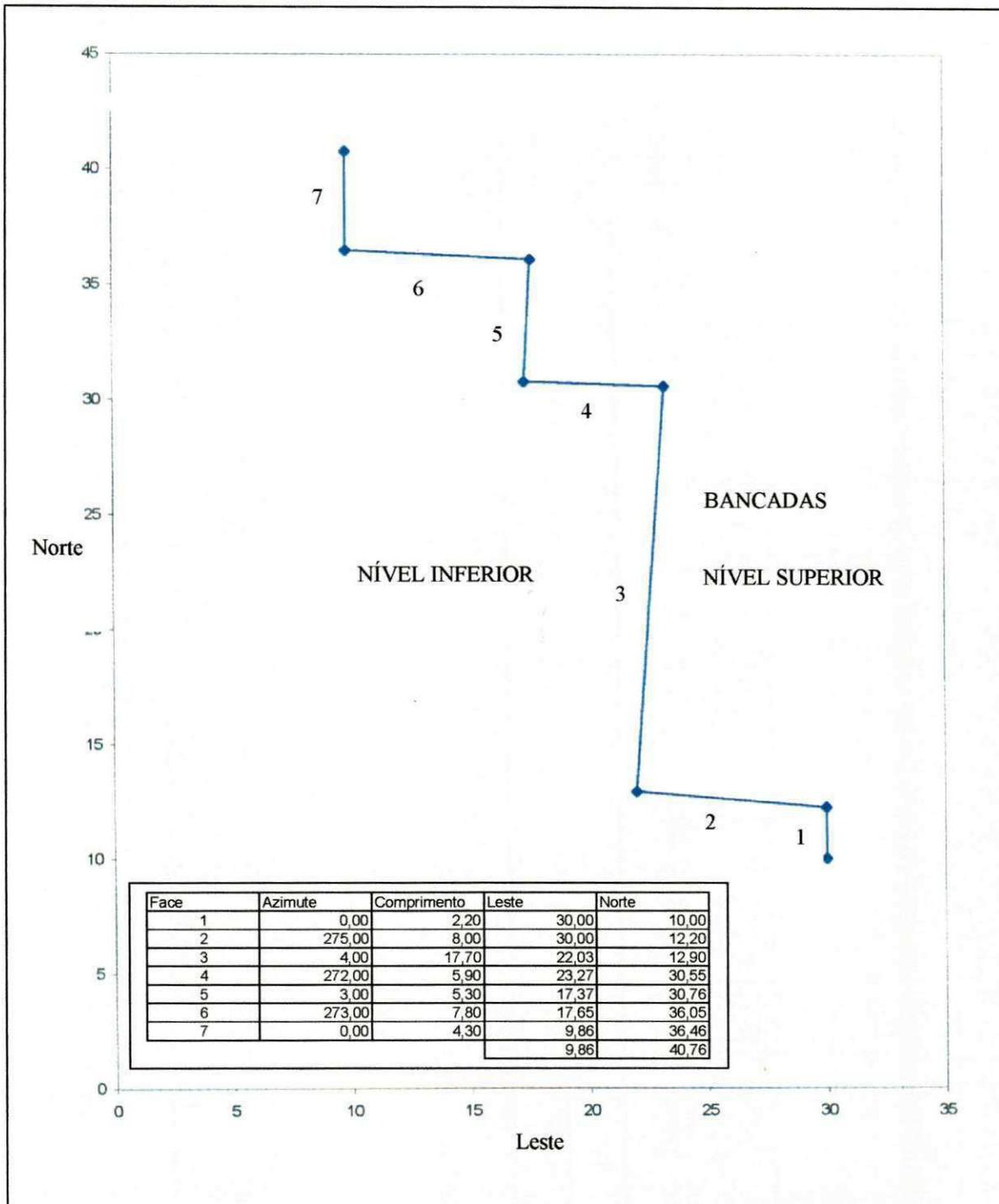


FIGURA 16 – Representação da geometria das frentes em planta.

As medições efetuadas nessas frentes, foram aplicadas na planilha para cálculo de direções e mergulhos verdadeiros, conforme mostrado na Tabela 1. Na Tabela 2 estão mostrados valores médios calculados baseados na Tabela 1.

TABELA 1 – Planilha para cálculo de direção e mergulho de planos geológicos, a partir de valores aparentes.

phi1	beta1	beta1'	phi2	beta2	beta2'	phi1'	phi2'	phi~	phi	beta~	Observações
Frente 1											
0,0	90,0	31,0	252,0	90,0	1,0	0,0	252,0	70,4	250,4	-32,5	beta2' = 0 => 1
252,0	90,0	1,0	304,0	90,0	28,0	252,0	304,0	70,5	250,5	-33,5	beta1' = 0 => 1
0,0	90,0	31,0	304,0	90,0	28,0	0,0	304,0	68,6	248,6	-32,8	
Frente 2											
22,0	90,0	23,0	295,0	90,0	23,0	22,0	295,0	68,5	248,5	-30,3	
Frente 3	Sem leitura devido a estéril										
Frente 4											
346,0	90,0	38,0	258,0	90,0	1,0	346,0	258,0	76,7	256,7	-38,0	beta2' = 0 => 1
Frente 5											
60,0	90,0	5,0	330,0	90,0	24,0	60,0	330,0	71,1	251,1	-24,4	
330,0	90,0	24,0	55,0	90,0	5,0	330,0	55,0	66,3	246,3	-24,1	
Frente 6											
270,0	90,0	1,0	0,0	90,0	35,0	270,0	0,0	88,6	268,6	-35,0	beta1' = 0 => 1

TABELA 2 – Direção e mergulhos médios de foliação.

Local da Frente na Pedreira	Direção média	Mergulho médio
Frente 1 (3 medições, 3 calculos)	250,0°	33°
Frente 2 (1 medição, 1 calculo)	248,5°	30°
Frente 4 (1 medição, 1 calculo)	257,0°	38°
Frente 5 (3 medições, 2 calculos)	249,0°	24°
Frente 6 (1 medição, 1 calculo)	269,0°	35°
Média (9 medições, 8 calculos)	255,0°	32°

4.4 DETERMINAÇÃO DO RQD A PARTIR DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

O RQD proposto por DEERE (1968), tem sido extensamente usado no campo da mecânica das rochas, aplicada à Engenharia de Minas e à Engenharia Civil. Na área de rochas ornamentais, esse índice geomecânico do maciço rochoso, não mereceu ainda a devida ênfase. Nesse sentido, foi incluído o Anexo 2, que apresenta a definição e algumas considerações sobre o RQD.

O RQD na área da pedreira foi determinado a partir de dados referentes a dois furos verticais de sondagem diamantada, executados com diâmetro BX no maciço do granito Casablanca. Para o furo nº 1, foram consideradas 3 caixas de testemunhos, perfazendo uma extensão completa de 15 metros. Para o furo nº 2, foram apenas consideradas as caixas 1, 2 e 4, tendo em vista que a caixa 3 não estava disponível na pedreira. Nas Figuras 17 a 23, constam as fotos das caixas de testemunhos para os dois furos ora examinados.

- Furo nº 1

coordenadas UTM: Zona 25, 398765E, 9389454N.

cota - 455

CX1

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
0 – 1	0,12 + 0,14	0,26	RQD = (3,15/5,00)x100
1 – 2	0,38 + 0,28 + 0,10	0,76	
2 – 3	0,17 + 0,16 + 0,16 + 0,21	0,70	
3 – 4	0,11 + 0,10 + 0,13 + 0,15 + 0,13 + 0,10	0,72	
4 – 5	0,15 + 0,19 + 0,13 + 0,13 + 0,11	0,71	
TOTAL		3,15	RQD = 63%



FIGURA 17 – Caixa 1 do furo nº 1.

CX2

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
5 - 6	0,10 + 0,21 + 0,16 + 0,22 + 0,18	0,87	RQD = (3,74/5,00)x100
6 - 7	0,32 + 0,32 + 0,17	0,81	
7 - 8	0,25 + 0,14 + 0,10 + 0,18 + 0,14	0,81	
8 - 9	0,11 + 0,26 + 0,14 + 0,17 + 0,14	0,82	
9 - 10	0,27 + 0,16	0,43	
TOTAL		3,74	RQD = 75%



FIGURA 18 – Caixa 2 do furo nº 1

CX3

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
10 - 11	0,11 + 0,42 + 0,15 + 0,24	0,92	RQD = (3,06/5,00)x100
11 - 12	0,13 + 0,11 + 0,17 + 0,17 + 0,12 + 0,13	0,83	
12 - 13	0,10 + 0,11 + 0,21 + 0,15 + 0,14 + 0,11	0,82	
13 - 14	0,12 + 0,10 + 0,10	0,32	
14 - 15	0,17	0,17	
TOTAL		3,06	RQD = 61%



FIGURA 19 – Caixa 3 do furo nº 1.



FIGURA 20 – Caixa 4 do furo nº 1 (com problemas na sondagem).

Determinação do RQD médio do furo nº 1:

$$RQD_1 = \frac{3,15 + 3,74 + 3,06}{15} \times 100 = 66, \%$$

Exibindo um RQD de 66%, o maciço é considerado de qualidade média, segundo a correlação entre RQD e a qualidade da rocha (DEERE, 1989).

- Furo nº 2

coordenadas UTM: Zona 25, 398804E, 9389477N.

cota - 454

CX1

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
0 - 1	0,10	0,10	
1 - 2	0,11 + 0,15	0,26	
2 - 3	0,14 + 0,25 + 0,28 + 0,11	0,78	RQD = (2,07/5,00)x100
3 - 4	0,13 + 0,21 + 0,13 + 0,19	0,66	
4 - 5	0,13 + 0,14	0,27	
TOTAL		2,07	41%



FIGURA 21 – Caixa 1 do furo nº 2.

CX2

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
5 - 6	0,50 + 0,15 + 0,18 + 0,10	0,93	RQD = (1,99/5,00)x100
6 - 7	0,11 + 0,10	0,21	
7 - 8	0,15	0,15	
8 - 9	0,11 + 0,19 + 0,13	0,43	
9 - 10	0,17 + 0,10	0,27	
TOTAL		1,99	RQD = 40%

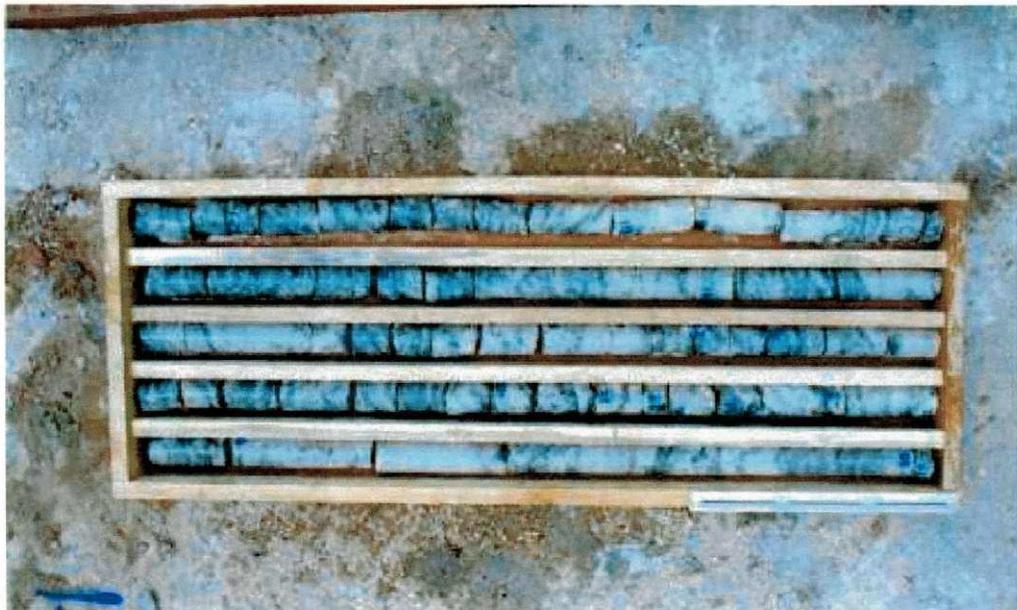


FIGURA 22 – Caixa 2 do furo nº 2.

CX3 – Não disponível

CX4

AMOSTRA (m)	SEGMENTOS > 10 cm	SOMATÓRIO	RQD
15 - 16	0,20 + 0,10	0,30	RQD = (0,85/3,00)x100
16 - 17	0,21	0,21	
17 - 18	0,16 + 0,18	0,34	
TOTAL		0,85	RQD = 28%



FIGURA 23 – Caixa 4 do furo nº 2.

Determinação do RQD médio do furo nº 2:

$$RQD_2 = \frac{2,07 + 1,99 + 0,85}{13} \times 100 = 38\%$$

Com um RQD igual a 38%, o maciço rochoso é considerado pobre (DEERE, 1989).

Considerando tratar-se de maciço para rocha ornamental, pode-se constatar que o valor do RQD medido nos dois furos (66% e 38%), ficou abaixo do que seria normalmente esperado. Esse fato pode ser atribuído às seguintes razões: a anisotropia da rocha, devido a sua foliação, favorecendo o surgimento de trincas sub-horizontais durante o processo de sondagem; e principalmente as elevadas tensões presentes no maciço, induzem o aparecimento de trincas, os chamados *core discing* descritos em OBERT & DUVALL (1967).

Como um fator adicional para interpretação da baixa recuperação obtida na testemunhagem, podem ser citados os seguintes fatores: uso de diâmetro BX, abaixo do recomendado pela norma, ISRM (1981); e execução da sondagem por equipe não especializada em trabalhos de perfuração para fins geotécnicos, onde é requerida técnica apurada para controle de avanço, visando alta recuperação.

4.5 DISCUSSÕES SOBRE LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Neste Capítulo foram apresentados os dados coletados e analisados no local da pedreira do granito Casablanca.

Inicialmente são feitas considerações sobre a metodologia geral para caracterização de uma jazida de rocha ornamental, da fase de pesquisa à fase de lavra, com base na literatura e na experiência adquirida durante a execução da pesquisa. É importante frisar que os conhecimentos da rocha e do maciço são progressivamente aplicados durante a pesquisa e lavra, tendo em vista as variações das características, sutis ou abruptas, que ocorrem em termos espaciais nas formações geológicas.

No corpo intrusivo onde se encontra a área de concessão da pedreira foi feito levantamento de atitude de juntas, havendo sido identificadas duas famílias bastante destacadas.

A topografia plani-altimétrica da pedreira foi obtida pela consolidação de dois levantamentos pré-existentes, com a posterior inclusão das frentes de lavra, levantadas com bússola e trena.

Usando sete frentes verticais abertas na rocha foi realizado levantamento minucioso da foliação da rocha, com auxílio de uma planilha desenvolvida para cálculo de valores verdadeiros de direção e mergulho de planos geológicos, sendo este desenvolvimento apresentado no anexo 1. obteve-se com isso uma direção média de 255° Azimute verdadeiro e mergulho 32°, sendo estes valores usados no direcionamento das frentes de lavra. Tratando-se de rocha movimentada, observam-se variações nas direções de foliação de até 20°, e de até 14° nos mergulhos. Estas variações são atribuídas também a imperfeições nas medições com bússola, principalmente dos mergulhos aparentes. No anexo 1 é apresentado um método alternativo baseado na medição de comprimentos de interseção, que elimina a necessidade de medição de mergulho aparente, melhorando portanto a precisão cálculo.

CAPÍTULO V

APLICAÇÃO DO SOFTWARE DATAMINE AO MODELAMENTO DA PEDREIRA

Neste capítulo, é apresentada a implementação em computador, dos dados coletados em campo e analisados. Foi usado o software Datamine Studio em uma plataforma Windows NT4, micro processador 500Mz, com 196Mb de RAM. O tempo máximo de processamento para geração do modelo de blocos, ficou abaixo de 5 minutos.

Com isso ficou patenteado que do ponto de vista de equipamentos a utilização do software seria viável mesmo em pequenas empresas. Entretanto, custos com contratação e treinamento de pessoal, licenciamento, manutenção e atualização do software; limitam a aplicação do modelamento informatizado de pedreiras às grandes empresas, no contexto atual.

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM SOFTWARE DE MINERAÇÃO

Software de mineração é o termo usado para descrever os sistemas informatizados, utilizados em operações mineiras, responsáveis pelo manuseio e processamento de informações que passam pela topografia, geologia, aspectos geotécnicos e análises químicas; e que podem gerar modelos muito próximos do real, em tempo reduzido e com natureza dinâmica, CARANASSIOS (1993; 1999).

Isso significa que, estes programas podem ser facilmente re-alimentados com informações atualizadas, tão logo estas se tornem disponíveis, obtendo-se novos modelos e aproveitando-se ao máximo os benefícios da informatização.

Segundo DE TOMI (1990), o sistema Datamine é um software integrado de mineração, que tem-se desenvolvido na Inglaterra desde 1981 para aplicações técnicas, envolvendo desde a pesquisa geológica, até o planejamento de mina. O usuário do sistema tem condições de executar análises e processamento de dados de pesquisa geológica, estimativa de reservas para qualquer tipo de depósito mineral e planejamento de minas a céu aberto ou subterrâneas.

5.2 TRABALHOS ANTERIORES

A utilização do software de mineração Datamine, em rochas ornamentais é recente, existindo portanto, pouca literatura sobre o assunto.

No setor de rochas ornamentais, os conceitos tradicionais de mineração vem sendo gradativamente desenvolvidos, porque este setor não comporta os parâmetros comumente empregados em outros setores da mineração (CARANASSIOS *et al.*, 1999). As rochas ornamentais demandam significativo planejamento para a extração dos blocos, visando maior aproveitamento da jazida de modo a maximizar a reserva útil e a quantidade dos blocos comerciais extraídos.

LIMA *et al.* (1998), utilizam um conceito de modelagem de blocos geológicos para o caso de rochas ornamentais, onde são definidos blocos de lavra com base nos parâmetros de extração. O trabalho de definição de blocos sem auxílio de um software, é bastante tedioso. As funções de geração de blocos são muito flexíveis e permitem definir blocos em três dimensões, com o ajuste preciso dos blocos, de acordo com os limites verticais e horizontais.

Segundo CARANASSIOS *et al.* (1998), a importância da utilização de softwares de mineração em pedreiras de rochas ornamentais, está associada à

versatilidade, que é proporcionada no planejamento de lavra de curto, médio e longo prazos. Como ferramenta especializada de Engenharia, o software de mineração, facilita a realização de interações sobre os parâmetros de planejamento, de modo a permitir maior rapidez e precisão nas análises de sensibilidade do avanço, e no controle de qualidade da lavra.

5.3 CARACTERÍSTICAS DA LAVRA

A seguir, é feita a descrição das características principais da pedreira do granito Casablanca.

O método de lavra utilizado para o granito Casablanca, conforme Figura 24, é o de bancadas baixas, descrito no Capítulo II deste trabalho.

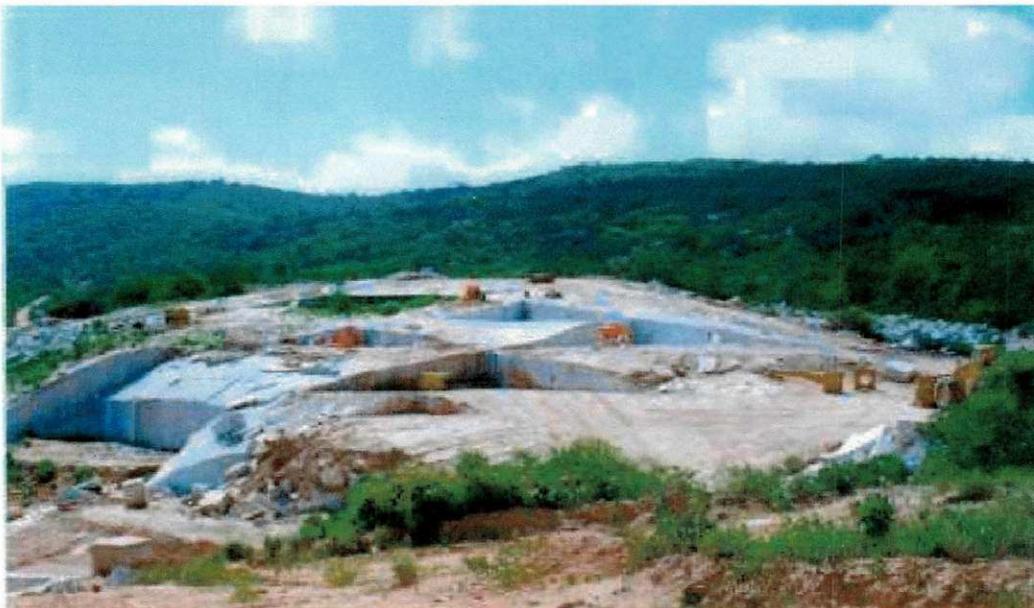


FIGURA 24 –Foto das frentes de lavra do granito Casablanca setor oeste.

Durante a visita para coleta de dados, realizada em março de 2000, o setor oeste da pedreira mostrado na Figura 24, contava com 5 frentes em

desenvolvimento. A tecnologia de corte utilizada na pedreira dos granitos Casablanca ,é o de corte contínuo; mais precisamente, a do fio diamantado.

5.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIGITAL

Para que seja possível o modelamento da pedreira, é necessário a alimentação de dados em forma digital.

A construção do modelo digital da área da pedreira em estudo, se dá inicialmente com a digitalização do mapa plani-altimétrico, em uma mesa digitalizadora, o qual fornecerá as informações necessárias para que seja definida a geometria do maciço. A seguir, é apresentada a seqüência para construção do modelo digital da pedreira.

5.4.1 Digitalização do Mapa Plani-altimétrico

A partir de mapa plani-altimétrico da pedreira, realizado com nível a laser e desenhado em papel milimetrado, foi efetuada a digitalização das curvas de nível. A zona delimitada para modelamento, compreende o setor sul da pedreira, englobando uma área de 175 metros no sentido E-W, por 130 metros no sentido N-S.

A digitalização das curvas de nível foi realizada sobre uma mesa digitalizadora, com a utilização do próprio Datamine como software de reconhecimento das informações geradas pela mesa.

A digitalização de cada curva de nível, gera uma poligonal. Por sua vez, cada poligonal contém todas as informações relevantes à curva de nível correspondente, posicionando-se tridimensionalmente, (conforme as informações de cotas fornecidas ao software). A Figura 25, exhibe as poligonais representativas

de curvas de nível com incremento variável de 1 a 3 metros. A diferença entre as cotas máxima e mínima da pedreira, é de 26 metros.

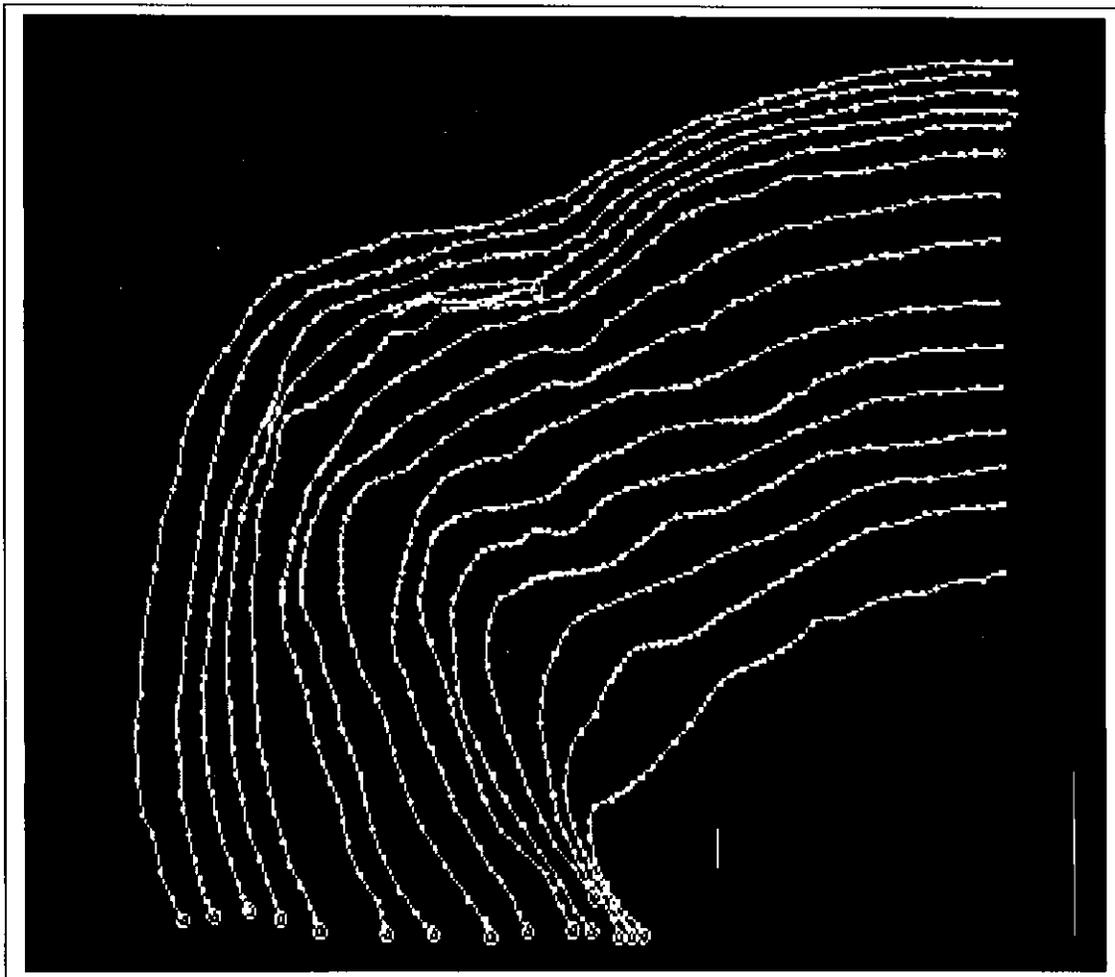


FIGURA 25 – Poligonais das curvas de nível.

Após a digitalização das curvas de nível, são então digitalizadas as frentes de lavra existentes no momento em que foi realizado o seu levantamento topográfico, com o uso de bússola e trena.

Com todas as informações necessárias digitalizadas, é então, realizada uma edição das curvas de nível, sendo efetuada uma redução do domínio para um alinhamento perfeito nos sentidos dos eixos x e y , e suavização, deixando mais apresentáveis as curvas de nível. Com isso, obtém-se um layout das poligonais da pedreira digitalizada, apresentadas na Figura 26. A orientação dos

eixos x e y , adotados nas partes a seguir deste trabalho, foi feita com base na foliação da rocha. Observa-se na Figura 26, que as faces dos cortes estão alinhadas com os eixos x e y ; sendo o eixo y , inclinado 15° no sentido anti-horário em relação ao norte verdadeiro.

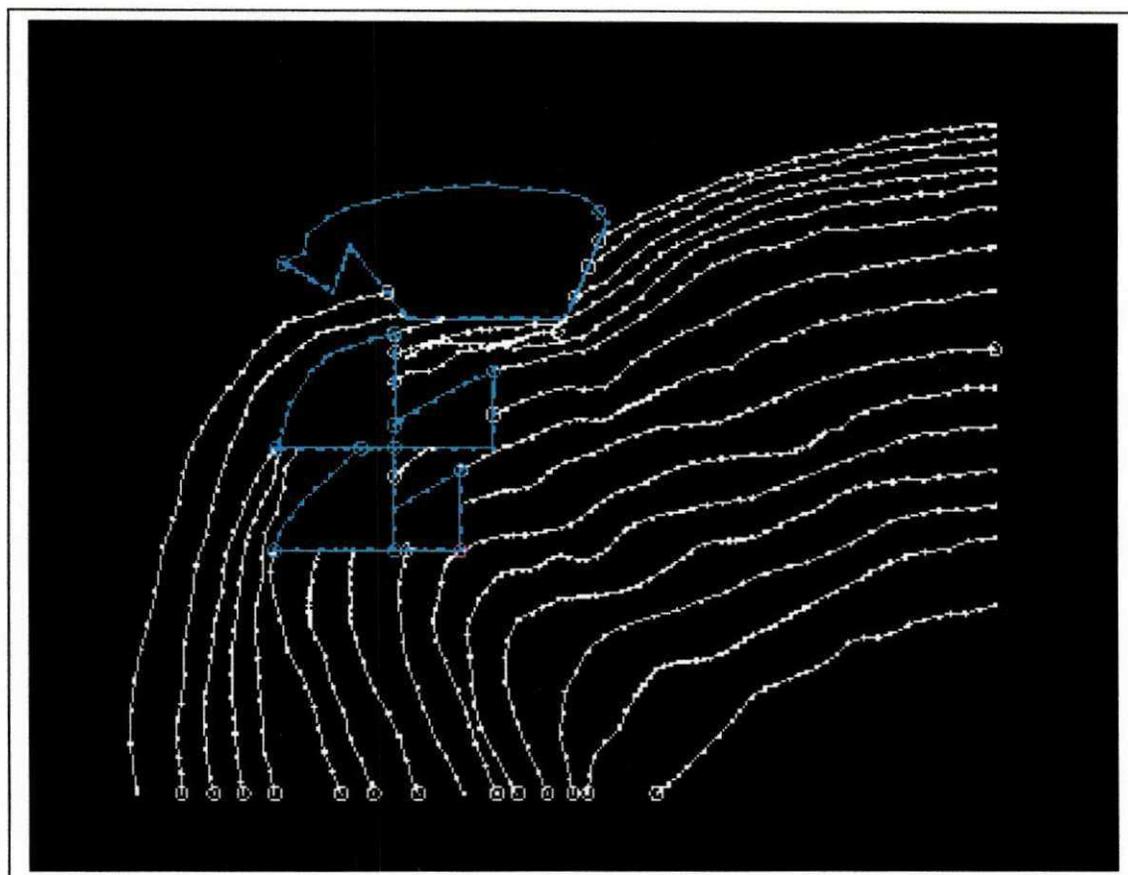


FIGURA 26 – Poligonais da área da pedreira após edição das curvas de nível e frentes de lavra existentes.

5.4.2 Criação da Superfície do Modelo

Com as curvas de nível e as frentes de lavra existentes digitalizadas, parte-se em seguida, para a criação da superfície virtual. A superfície virtual recria a superfície existente em uma área determinada da pedreira, com a triangulação entre os pontos das poligonais.

Inicialmente, cria-se uma poligonal de fechamento que circunda todas as poligonais existentes, para que se possa criar o modelo digital; sendo essa, uma exigência operacional do software.

Cada poligonal é triangulada com a poligonal posterior e a anterior, se houver. As frentes de lavra são criadas da mesma forma, gerando-se assim, uma superfície. Na Figura 27, é mostrada a triangulação dos pontos das poligonais, enquanto que na Figura 28, é apresentada a visualização da superfície gerada (*wireframe*), com uma certa rotação para ressaltar a superfície em terceira dimensão. Na Figura 29, é feita uma composição entre a superfície em terceira dimensão e as poligonais, com o corte horizontal das frentes de lavra, mostrado em cor lilás escura.

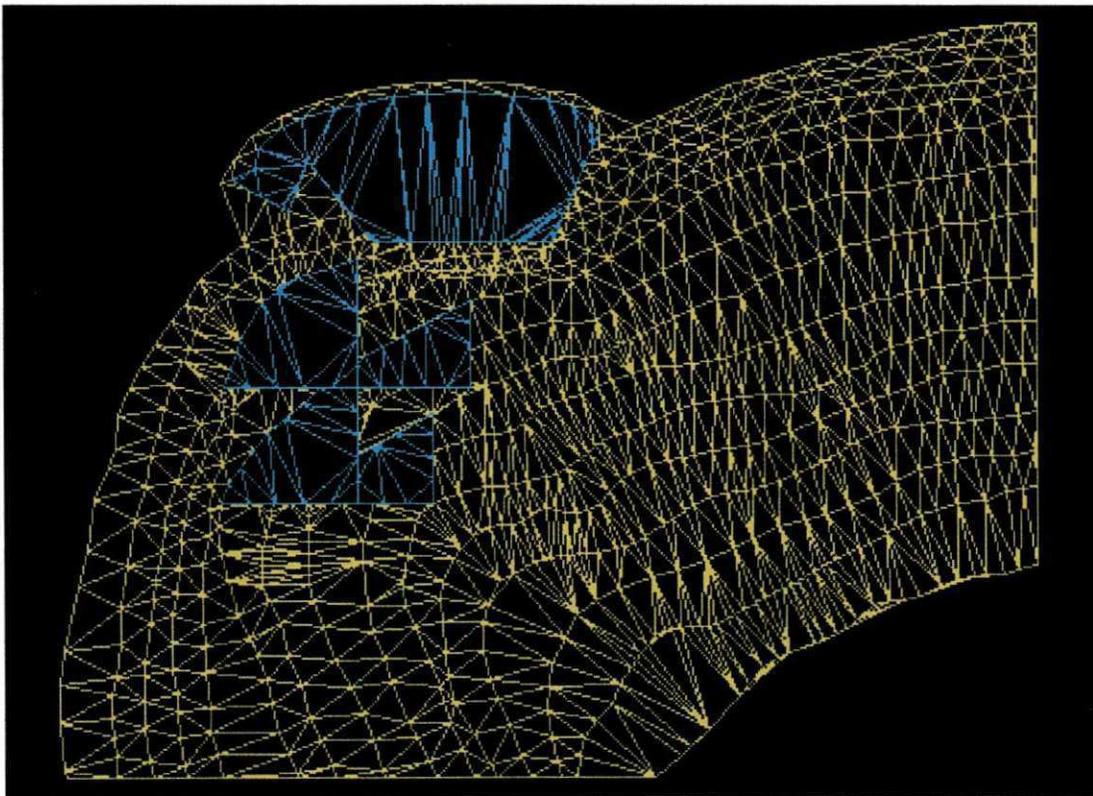


FIGURA 27 – Vista em planta da triangulação entre os pontos das poligonais, com curvas de nível em amarelo e frentes de lavra em lilás.

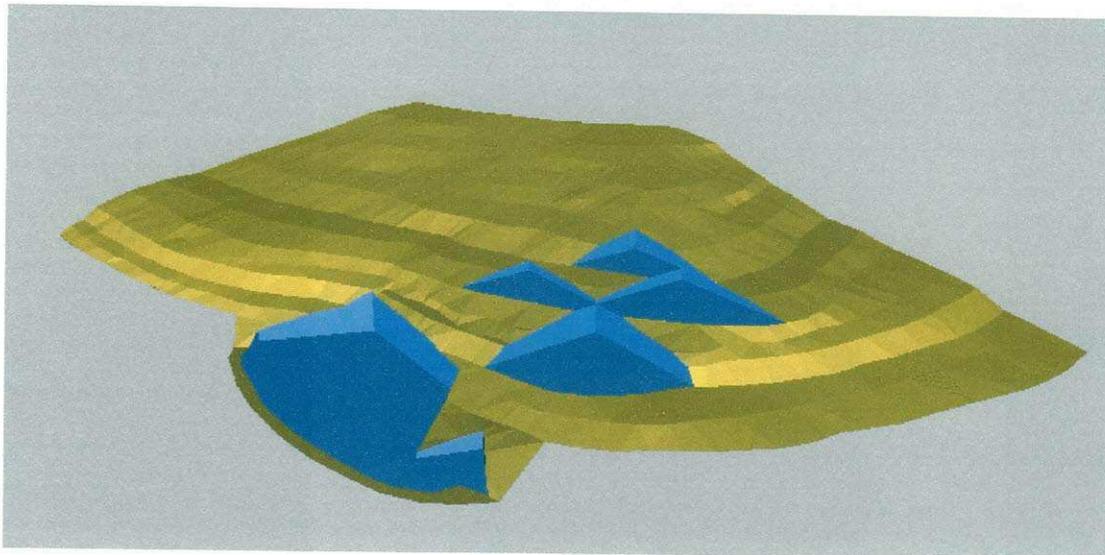


FIGURA 28 – Superfície do terreno digitalizado (*wireframe*).

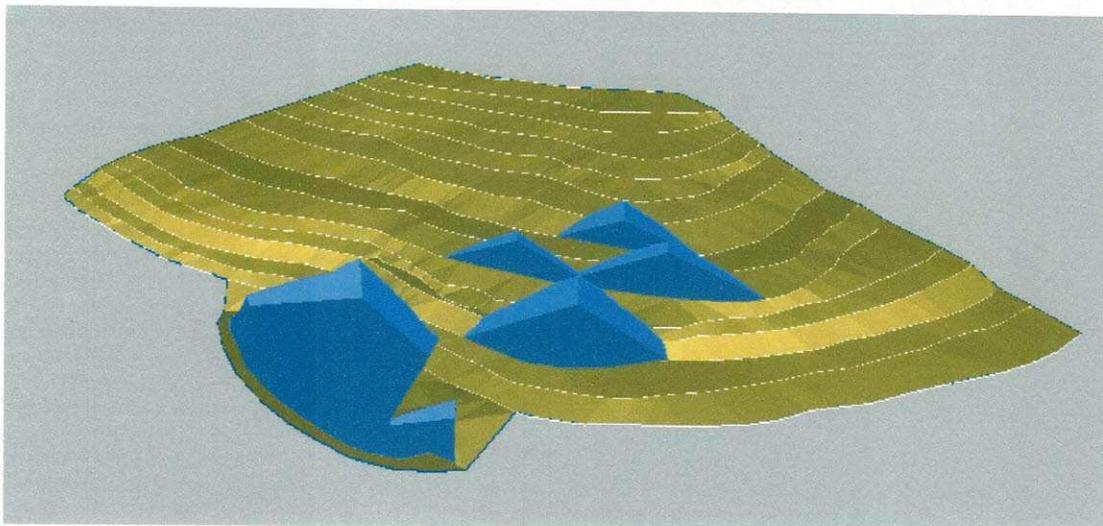


FIGURA 29 – Superfície do terreno (*wireframe*), incluindo a projeção das poligonais.

5.4.3 Criação do Modelo Digital do Maciço

Com a superfície virtual criada, parte-se então, para a geração do maciço, o qual engloba um volume específico da pedreira.

Inicialmente, foi estipulada uma cota mínima para definir o limite horizontal inferior do maciço a ser criado. Foi adotada a cota 435.46m, coincidindo com o limite inferior do afloramento. Esta cota será utilizada como nível base do maciço.

Com a definição do nível base, cria-se primeiramente as laterais, que irão definir os limites verticais do maciço. Utilizando-se para a definição dessas laterais a poligonal de contorno e a cota base, criando-se com isso as três laterais: plano do eixo *x*, plano do eixo *y* e superfície acompanhando a cota máxima, conforme apresentado nas Figuras 30 e 31.

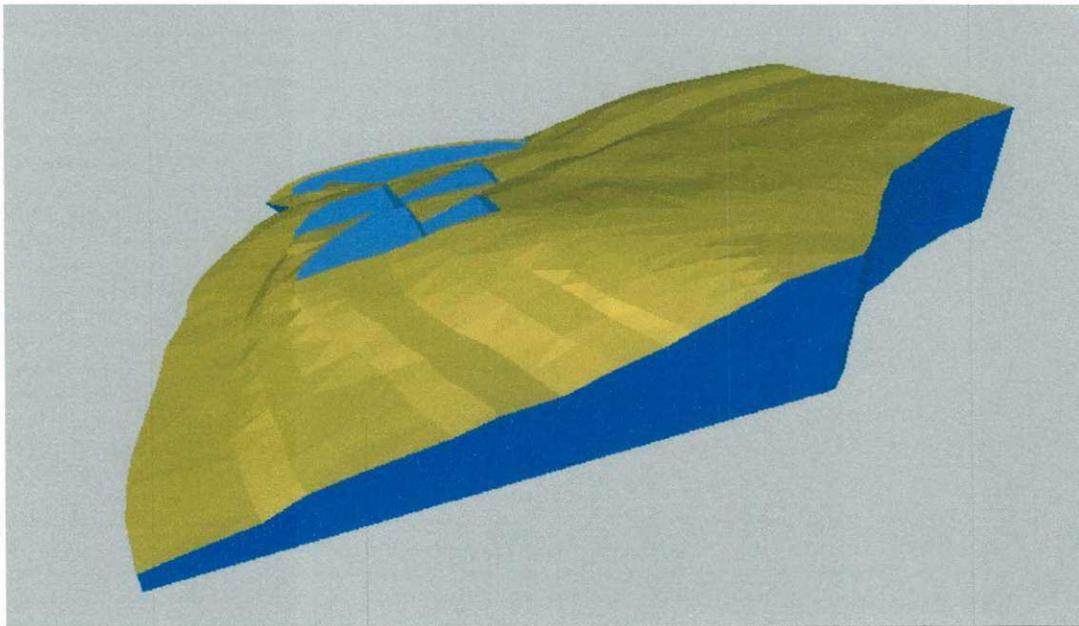


FIGURA 30 – Visão das laterais, com modelo rotacionado.

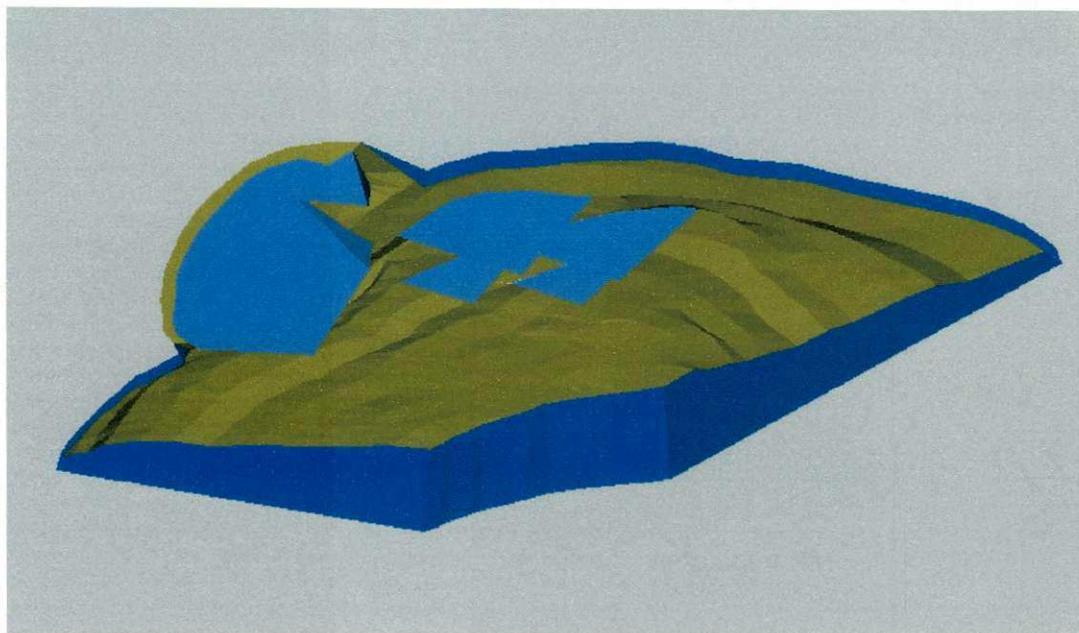


FIGURA 31 – Visão das três laterais, com modelo rotacionado, e visada posicionada por baixo do modelo.

Após a criação das superfícies laterais verticais, é realizado o fechamento horizontal inferior do sólido na cota 435,46m, conforme representado nas Figuras 32 a 34.

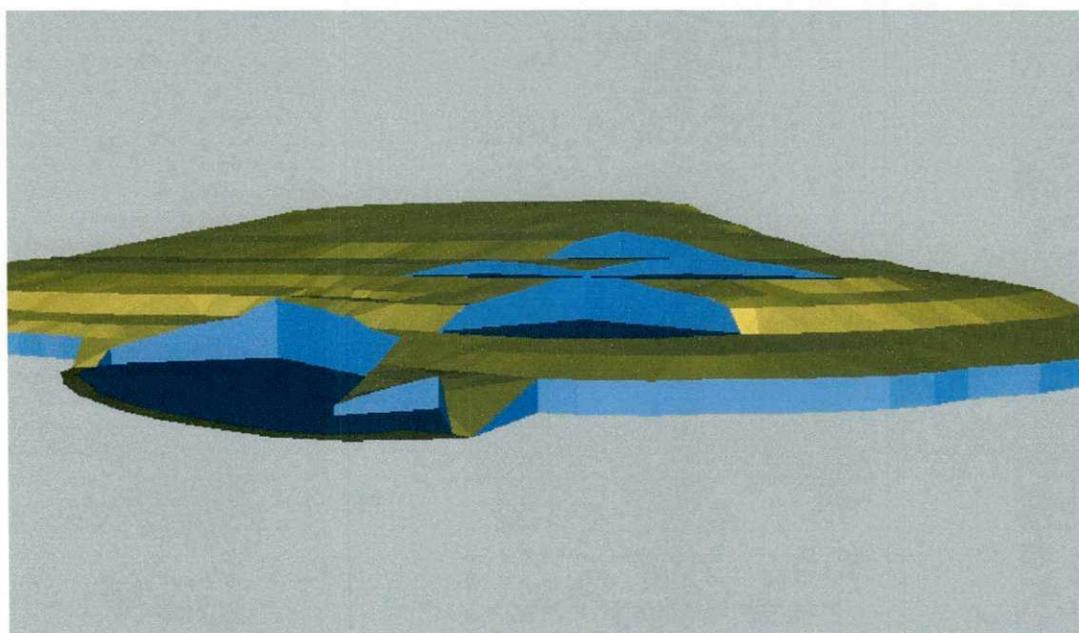


FIGURA 32 – Visão frontal do maciço digitalizado.

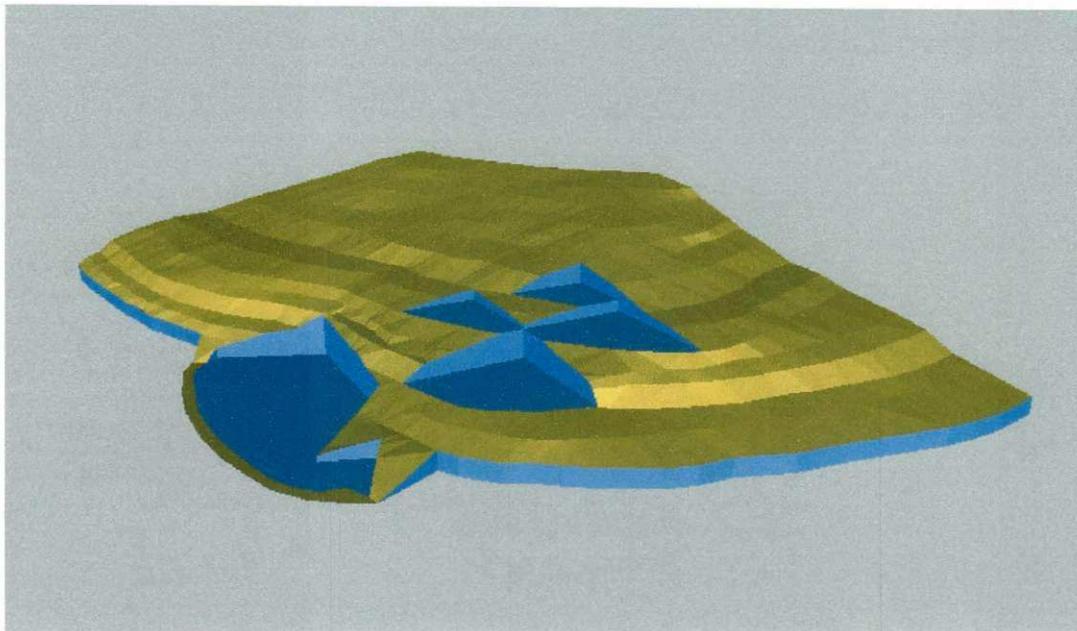


FIGURA 33 – Visão do maciço.

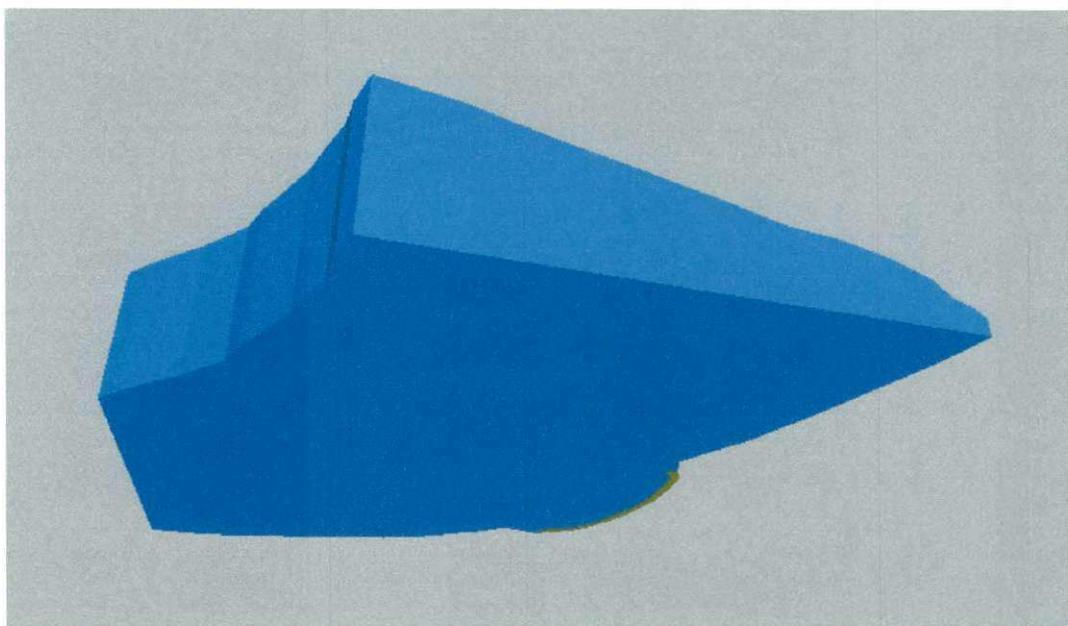


FIGURA 34 – Visão inferior do maciço.

O maciço digitalizado pode ser comparado com a foto da pedreira, Figura 35, onde se nota a equivalência entre modelo verdadeiro, e o maciço digitalizado, conforme descrito no parágrafo anterior, e mostrado na Figura 32.

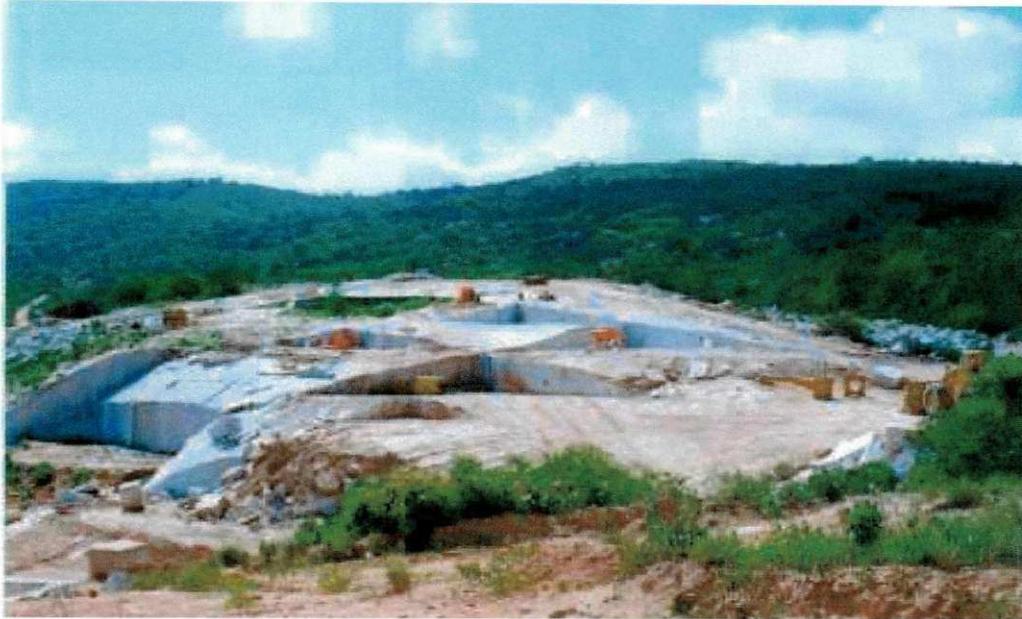


FIGURA 35 – Visão fotográfica das frentes de lavra da pedra do Granito Casablanca.

5.5 MODELAMENTO DE BLOCOS

Com o modelo digital do maciço criado, é iniciado o processo de geração do modelo de blocos.

Alguns parâmetros foram adaptados. Um exemplo claro é o parâmetro de exclusão de material, ou seja: o que é considerado estéril e o que é considerado minério. No caso da lavra de minerais convencionais, o estéril é definido pelo seu teor *in situ*, teor de corte, teor crítico, etc. Já no caso das pedreiras de rocha ornamental, o principal parâmetro é o tamanho do bloco, outros parâmetros baseados em ensaios de propriedades físicas e petrográficas (resistência, porosidade, densidade, alterabilidade, cor textura, etc) podem ser incluídos, desde que se disponham de dados regionalizados em quantidade suficiente para uma modelagem que seja representativa da jazida. Aqueles blocos que atendem o tamanho padronizado são considerados lavráveis, os que não atingem as dimensões especificadas de bloco são considerados como estéril. Outros parâmetros importantes são descritos a seguir.

5.5.1 Parâmetros Utilizados

Como citado anteriormente, em rochas ornamentais, o principal parâmetro para o modelamento de blocos são as suas dimensões. O padrão adotado para o modelamento dos blocos, do caso em estudo, foi 3,30m por 1,90m por 1,60m (comprimento, altura, largura).

Estas dimensões foram adotadas, levando em consideração as medidas máximas dos teares da empresa que explora a pedreira, privilegiando o maior aproveitamento possível do depósito, ao mesmo tempo mantendo um baixo custo de beneficiamento, com a utilização de todo o espaço útil do tear durante a serrada.

Este padrão de dimensões dos blocos pode variar, dependendo do modelo e fabricante dos teares utilizados, ou dependendo ainda da exigência dos compradores, no caso da venda de blocos a terceiros.

Outro parâmetro levado em consideração aqui, foi a direção preferencial de partição da rocha (foliação). Conforme medições efetuadas em campo, a direção preferencial de foliação é em média 255° azimute verdadeiro.

Para a inclinação de extração dos blocos em relação à horizontal, foram simuladas duas situações: primeiro considerou-se a situação da lavra pré-existente, a qual possui planos de corte horizontalizados; na segunda simulação considerou-se um mergulho de 32° em relação à horizontal, coincidente com o mergulho da foliação.

Para que fosse possível o modelamento dos blocos apenas no volume desejado, foram definidos os seguintes limites do modelamento: a superfície do maciço, os fechamentos laterais e o fechamento horizontal inferior. Desta maneira, o modelamento é realizado dentro de um volume completamente definido.

Outro parâmetro que deve ser levado em consideração, são as fraturas e falhas existentes no maciço. Para o caso em estudo, no setor norte da pedreira, o maciço se apresenta sem fraturas ou falhas.

Caso essas feições geológicas sejam observadas, é possível sua incorporação no modelo, por meio de zonas de exclusão conforme adotado em pesquisa anterior (LIMA *et al.*, 1998).

5.5.2 Modelamento com Cortes Horizontais

Com o modelo digital do maciço completamente definido (Figura 33), juntamente com os parâmetros totalmente definidos, podemos partir para o modelamento em blocos propriamente dito.

No modelamento com cortes horizontais, foram consideradas as bancadas com praças horizontais em uso na pedreira na ocasião da visita.

Para que fosse possível realizar o modelamento, foi desenvolvida uma macro em conjunto com a DATAMINE Latin America. A macro é uma seqüência de comandos que é armazenada em um arquivo simples de texto, sendo sua principal função e vantagem possibilitar a repetição de trabalhos iterativos, para a criação e análise de diferentes cenários. As listagens das macros para geração de blocos horizontais e inclinados, são dados no Anexo 3 (DE TOMI & KALVELAGE, 2001).

A macro conduz à criação do modelo de blocos, levando em consideração os parâmetros definidos no item 5.5.1. Após a criação do modelo, a macro comanda a rotina para cálculo do volume total do maciço, o volume de blocos utilizáveis e o volume de rocha estéril (sub blocos). Para cálculo do estéril, são contabilizados os volumes com dimensões abaixo do padrão especificado.

O modelo de blocos é criado com blocos e sub blocos, iniciando-se o processo com blocos mais próximos à superfície topográfica do modelo. Todo o

modelo é inicialmente preenchido por blocos nas dimensões pré-estabelecidas. Na seqüência todos os espaços vazios são preenchidos por sub blocos. É importante ressaltar que os sub blocos são considerados como o estéril da pedra, e os blocos como o bem lavrável.

A Figura 36 mostra o modelo virtual preenchido por blocos e sub blocos.

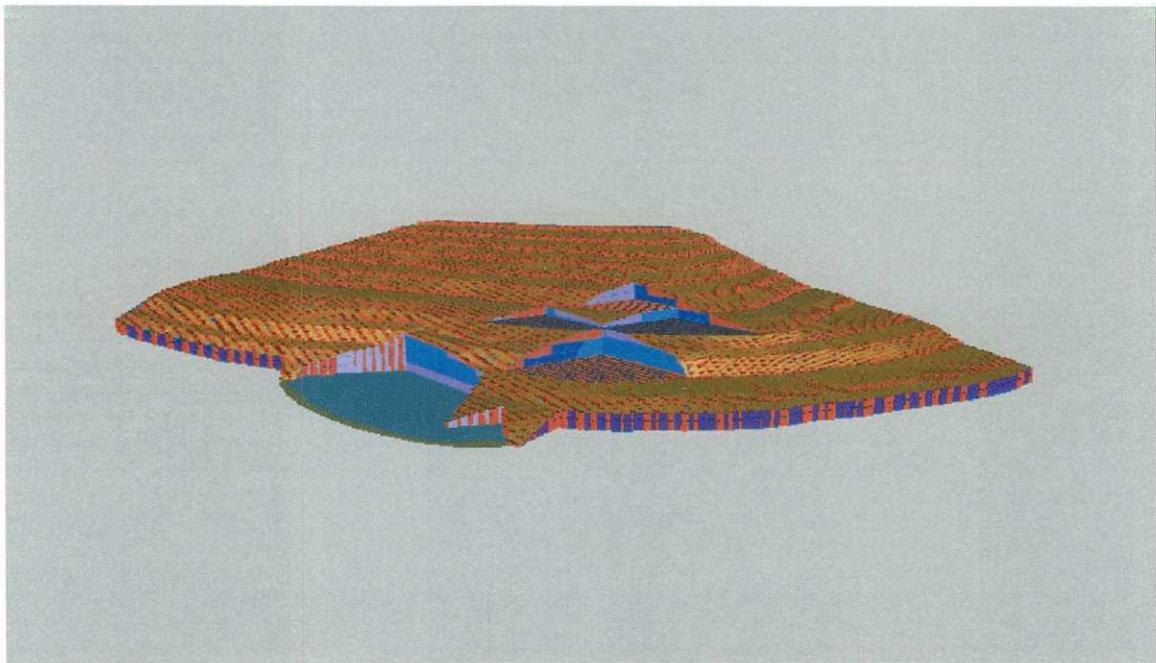


FIGURA 36 – Modelo digital do maciço, preenchido por blocos e sub blocos.

Com o preenchimento podemos, visualizar o modelo de blocos e sub blocos após remoção da superfície contínua, como é mostrado na Figura 37. Um corte deste modelo na direção longitudinal dos blocos, direção y 345° de azimute norte verdadeiro, é demonstrado na Figura 38.

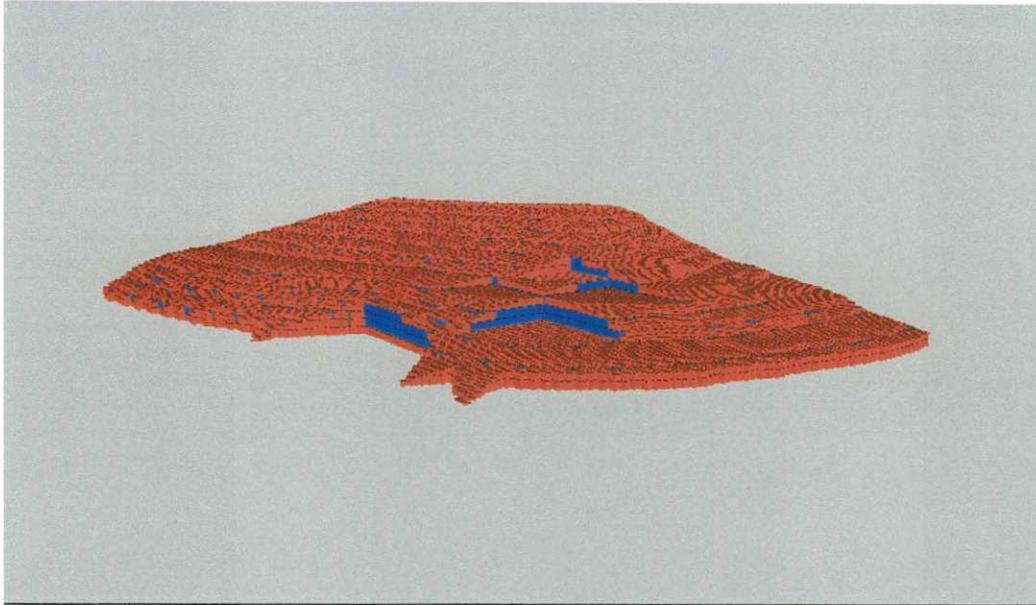


FIGURA 37 – Modelo digital dos blocos e sub blocos, com remoção da superfície.

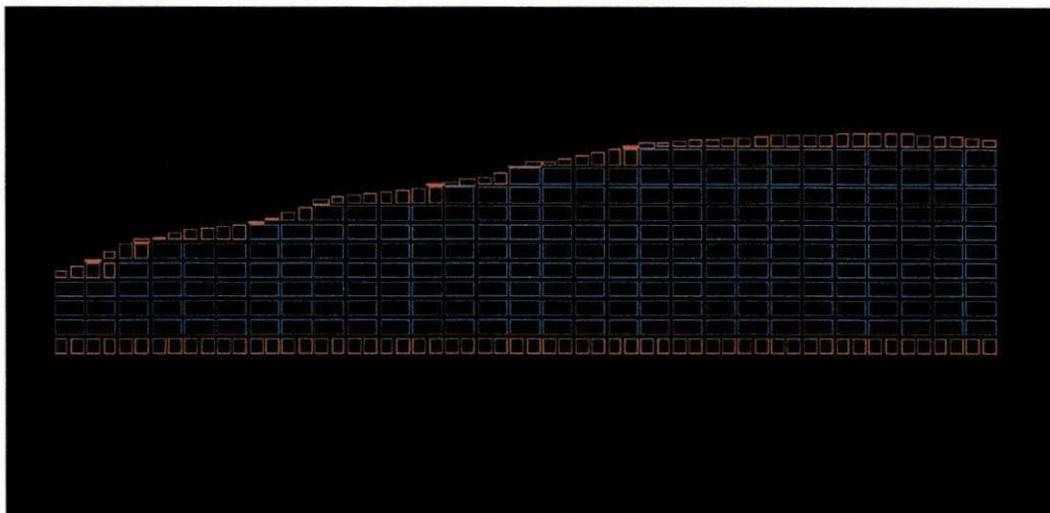


FIGURA 38 – Corte do modelo digital dos blocos e sub blocos, sem a superfície e na direção 345° Az.

Com a utilização de filtros podem ser eliminados os sub blocos, e visualizados apenas os blocos (Figura 39). Um corte mostrando apenas os blocos no sentido 345° Azimute, é mostrado na Figura 40, sendo outro no sentido 255° Azimute, mostrado na Figura 41.

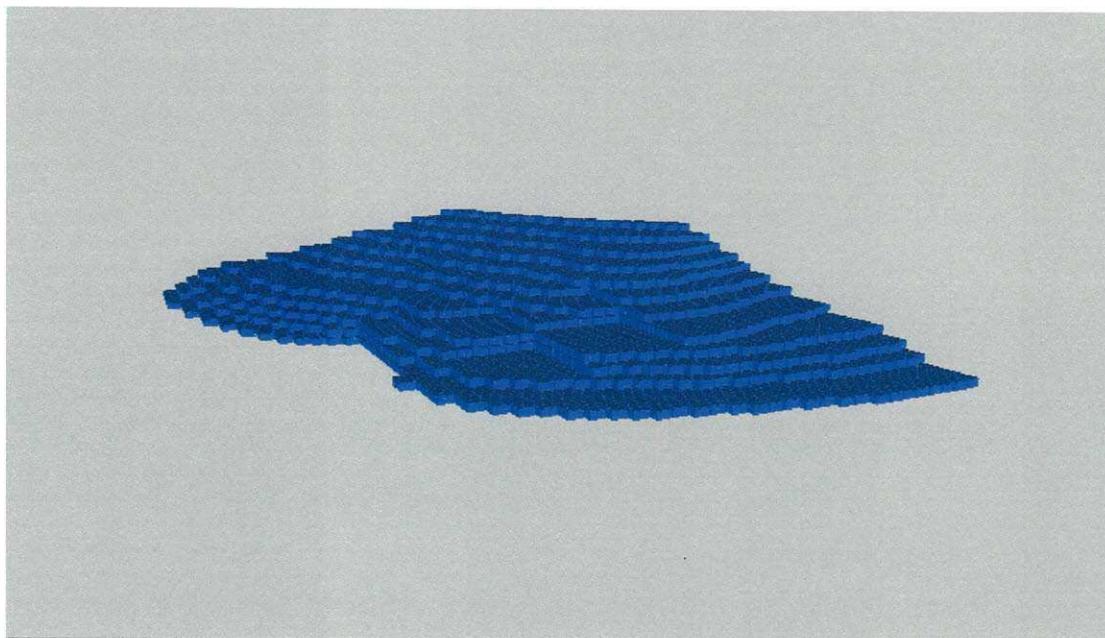


FIGURA 39 – Modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado.

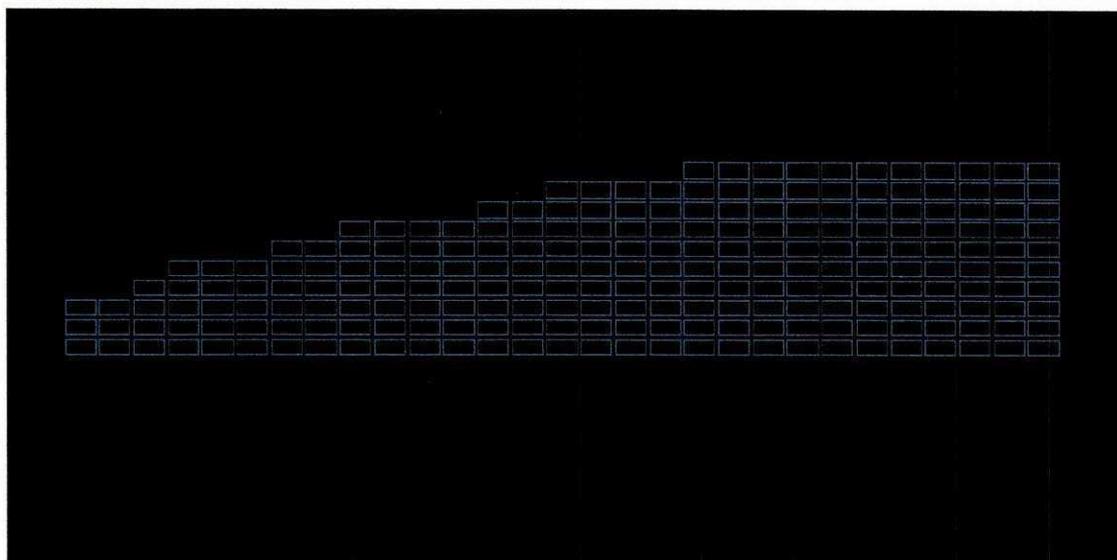


FIGURA 40 – Corte do modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado (sentido aproximado N-S).

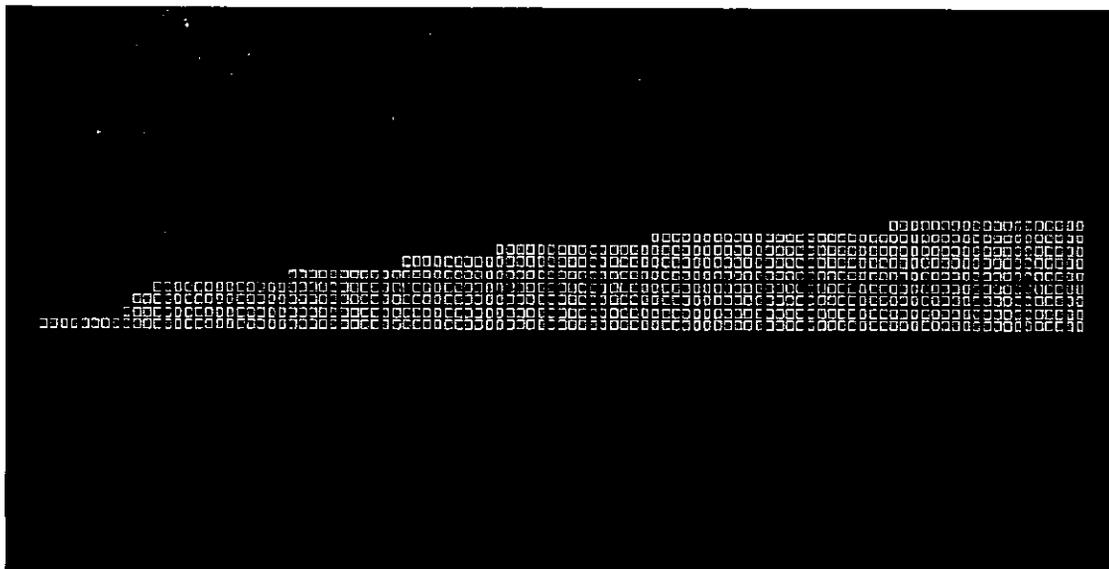


FIGURA 41 – Corte do modelo digital dos blocos, sem a superfície do terreno digitalizado (sentido aproximado E-W).

Podem ser feitos cortes horizontais em qualquer cota desejada. Na Figura 42, é mostrado um corte horizontal na cota 454m.

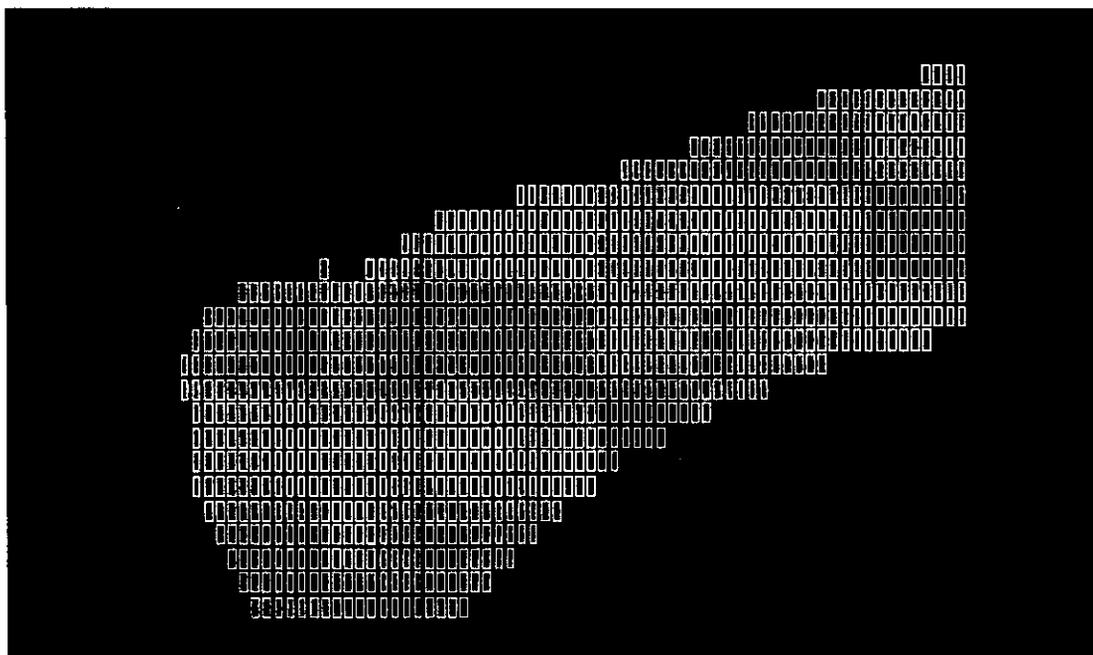


FIGURA 42 – Corte horizontal do modelo digital dos blocos na cota 454m.

Estes cortes possibilitam que se visualize o número de blocos que podem ser extraídos em cada cota da pedreira, no caso do corte horizontal; auxiliando ainda na determinação da altura das bancadas, tornando simples suas visualizações.

Após o modelamento, a macro proporcionou a geração de um relatório referente as reservas obtidas com cortes horizontais, conforme Tabela 3.

TABELA 3 - Volumes referentes ao Modelo com cortes horizontais.

MODELO ⁽¹⁾	VOLUME (m³)
Blocos inteiros	192.631
Sub blocos	53.330
Total da pedreira	245.962

(1) Número de blocos inteiros (19.201).

Deve-se ressaltar que a reserva de blocos inteiros está condicionada unicamente a fatores geométricos, sem consideração acerca das imperfeições que normalmente reduzem substancialmente a recuperação da lavra de rochas ornamentais.

5.5.3 Modelamento com Cortes Inclinados

Para a criação do modelo com cortes inclinados, é utilizado o mesmo modelo digital de maciço (Figura 33) que serviu para a criação do modelo com cortes horizontais. Basicamente, a diferença para o modelamento com cortes inclinados e para o modelamento com cortes horizontais está na macro, a qual sofreu alterações. Estas alterações são referentes à rotação do modelo e algumas outras mudanças decorrentes dessa operação.

No modelamento com cortes inclinados, foram consideradas bancadas com mergulho de 32°, coincidindo com o mergulho de foliação da rocha.

A macro, cuja listagem se encontra no Anexo 3, leva em consideração os mesmos parâmetros definidos no item 5.5.1.

Após a execução da macro usando mergulho de 32°, o modelo é gerado. Podemos visualizar o modelo de blocos e sub blocos na Figura 43.

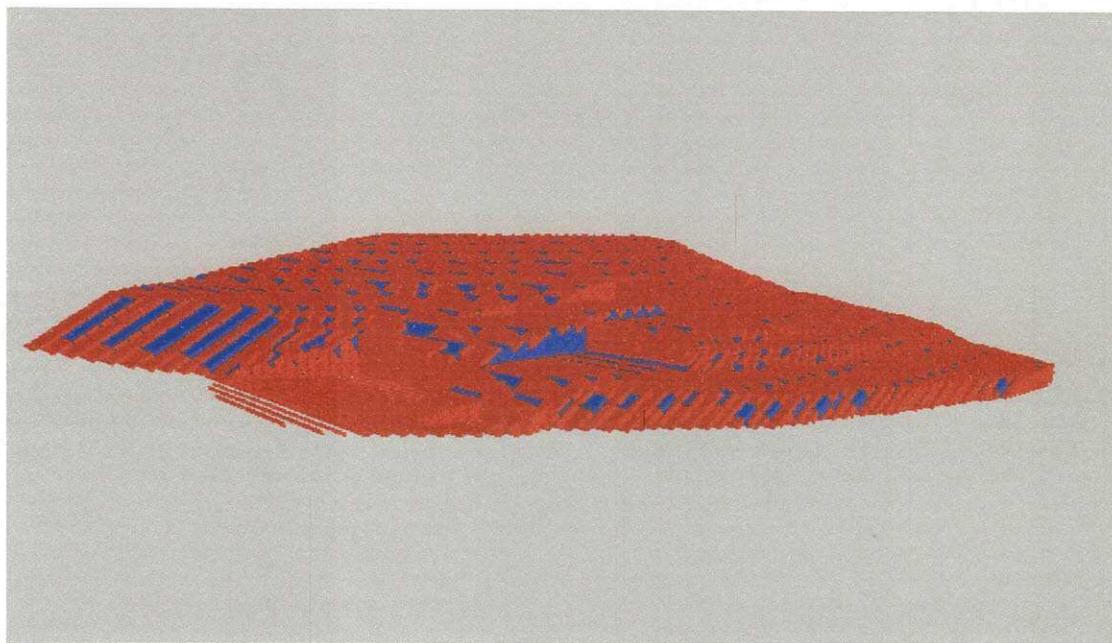


FIGURA 43 – Modelo digital dos blocos e sub blocos inclinados.

Com o corte no sentido y ($345^\circ Az$), é mostrado o modelamento inclinado; Figura 44, onde podem ser visualizados os blocos com o mergulho de 32°.

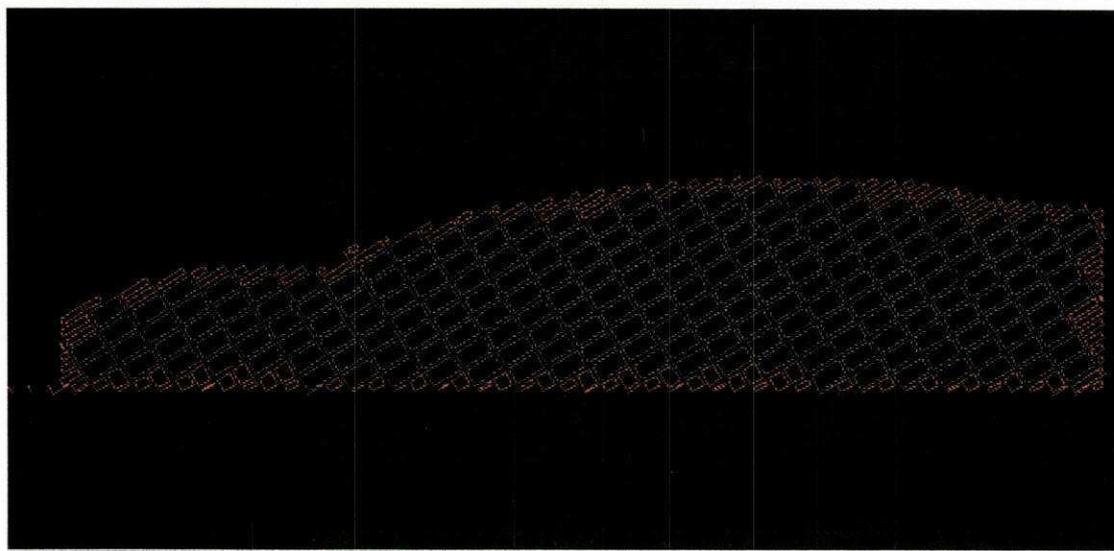


Figura 44 – Corte do modelo digital dos blocos e sub blocos inclinados, na direção aproximada Norte-Sul.

Utilizando os mesmos filtros adotados no item 5.5.2, visualizamos apenas os blocos do maciço na Figura 45, sendo o corte mostrando somente os blocos no sentido y visto na Figura 46.

É importante salientar que, no modelo de blocos em três dimensões, estão representados todos os blocos lavráveis existentes na parte da pedreira selecionada para o estudo.

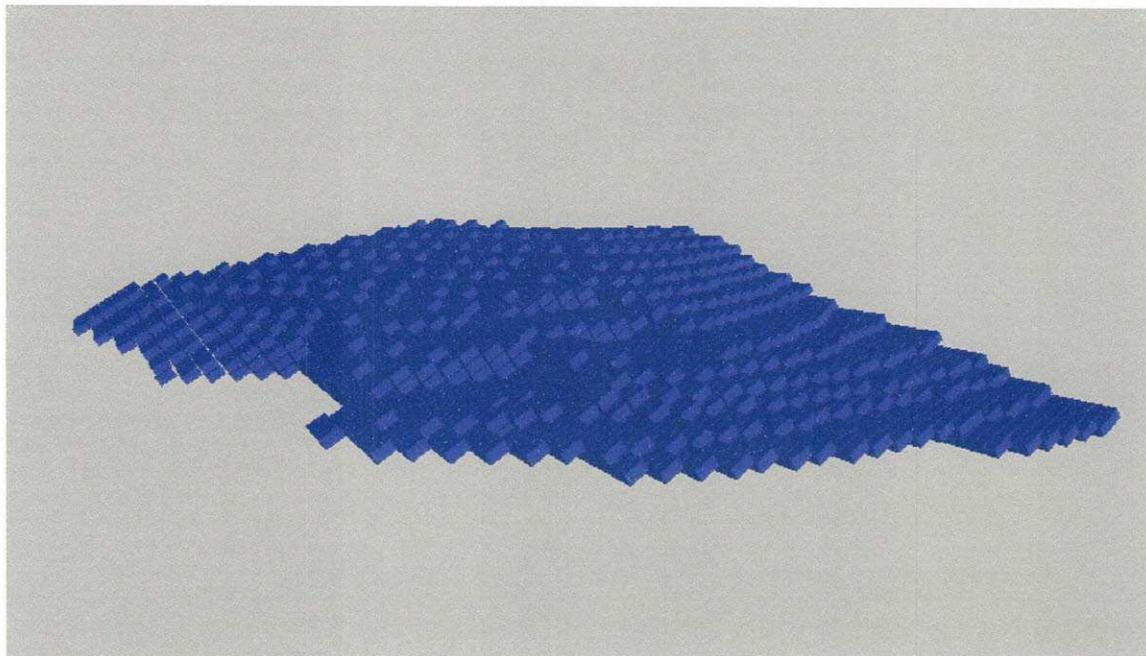


FIGURA 45 – Modelo digital dos blocos inclinados.

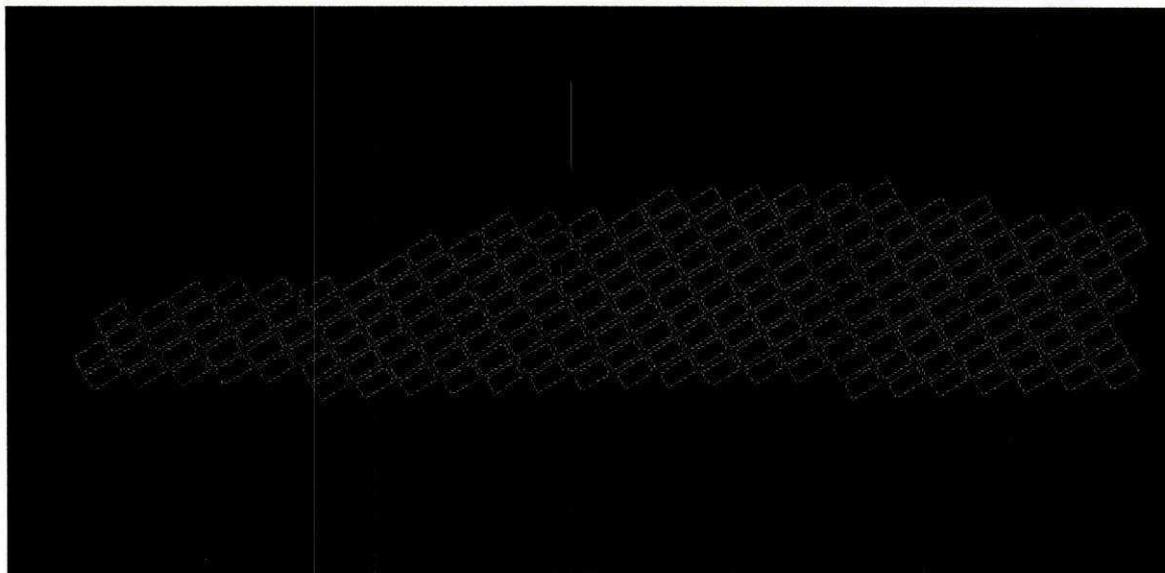


FIGURA 46 – Corte do modelo inclinado dos blocos, sem os sub blocos (direção aproximado Norte-Sul).

A macro gerou um relatório referente as reservas obtidas com o modelamento utilizando cortes inclinados, o qual é exibido na Tabela 4.

TABELA 4 - Volumes referentes ao Modelo com cortes inclinados

MODELO ⁽¹⁾	VOLUME (m³)
Blocos inteiros	196.334
Sub blocos	46.060
Total da pedreira	242.394

(1) Número de blocos inteiros (19.571).

Novamente, é importante ressaltar que a reserva de blocos inteiros está condicionada unicamente a fatores geométricos, sem consideração acerca das imperfeições que normalmente reduzem substancialmente a recuperação da lavra de rochas ornamentais.

5.6 DISCUSSÕES SOBRE O MODELAMENTO DA PEDREIRA

Inicialmente foram feitas considerações de ordem geral sobre as características de softwares para aplicação em mineração; seguindo-se então uma breve apresentação de trabalhos anteriores versando sobre o modelamento informatizado de pedreiras de rochas ornamentais.

O método de lavra adotado na época da visita à pedreira Casablanca era o de bancadas baixas, com o corte inferior no plano horizontal, conforme definido e ilustrado por foto na item 5.3.

A construção do modelo digital da pedreira é apresentada passo a passo, passando pelas etapas: digitalização do mapa plani-altimétrico, criação da superfície e criação do modelo da pedreira.

Para a criação do modelo discretizado foram adotados os tamanhos de bloco 3,30m por 1,90m por 1,60m (comprimento, altura e largura), sendo estas dimensões as mais favoráveis ao processo de serragem nos teares da Empresa. As porções de rocha localizadas nas bordas do modelo e que não atendem as

dimensões de blocos, foram denominadas sub blocos, sendo portanto tratadas como estéril.

O modelo com o corte inferior dos blocos no plano horizontal resultou em uma reserva de 19.201 blocos (192.631m^3 , 78% de recuperação), até a cota inferior 435,46m; enquanto que o modelo com plano de corte inclinado de 32° resultou em 19.571 blocos (196.334m^3 , 81% de recuperação), considerando-se a mesma cota inferior.

É importante lembrar que a reserva calculada, baseada puramente em fatores geométricos, será reduzida, quando for considerada a reserva apresentado valor comercial, tendo em vista os diversos defeitos que geralmente ocorrem na rocha, principalmente: trincas, inclusões, veios, alterações causadas pelo intemperismo, mudanças de cor e textura, entre outros.

O modelamento usando um plano de corte inferior inclinado para os blocos poderá ser útil naqueles maciços apresentando anisotropia ou fraturas não horizontais.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante o curso do presente estudo, foi observado que o modelamento informatizado é de fácil aplicação para rochas ornamentais, necessitando-se de um levantamento topográfico plani-altimétrico e de dados geológicos e geotécnicos sobre o maciço rochoso. Observou-se ainda a viabilidade do modelamento, com blocos cortados em ângulo com a horizontal. Foi efetuado cálculo da reserva de blocos em ambos os modelos, através de duas macros DE TOMI & KALVELAGE (2001), obtendo-se valores muito próximos. O modelo com o corte inferior dos blocos no plano horizontal resultou em uma reserva de 19.201 blocos (78% de recuperação), enquanto que o modelo com plano de corte inclinado de 32° resultou em 19.571 blocos (81% de recuperação). É importante lembrar que a reserva calculada aqui, baseada puramente em fatores geométricos, será reduzida quando for considerada a reserva de blocos apresentando valor comercial, tendo em vista os defeitos que geralmente ocorrem na rocha.

O modelo usando um plano de corte inferior inclinado para os blocos poderá ser útil naqueles maciços apresentado anisotropia ou fraturas não horizontais, tratando-se de uma das contribuições da presente pesquisa.

Foi realizado um levantamento de juntas no corpo intrusivo onde está localizada a pedreira, obtendo-se duas famílias de juntas muito bem definidas. No local onde estava sendo aberta a pedreira principal não foram detectadas fraturas sub-verticais. Foi observada a presença de uma fratura de alívio, aparentemente

paralela à superfície topográfica, não sendo possível, entretanto sua inclusão no modelo por falta de afloramentos.

Os testemunhos de dois furos de sonda foram analisados, fornecendo valores de RQD muito abaixo daqueles esperados para rochas ornamentais (66% e 38%), sendo este fato atribuído à foliação da rocha, elevado estado de tensão no maciço e técnica de sondagem não adequada para trabalhos geotécnicos. Devido ao pequeno número de furos, e aos resultados questionáveis, os valores de RQD não foram utilizados na base de dados, tendo sido mantidos no corpo do trabalho no sentido de incentivar sua adoção em outras pesquisas.

Do ponto de vista prático a sondagem é executada no estágio inicial da pesquisa da pedreira, ou na fase de lavra, para provar reservas em profundidade. A sondagem diamantada deve ser executada com esmero, visando também a detecção de juntas e fraturas, e possibilitando a execução de alguns ensaios tecnológicos.

Observou-se portanto que na prática os dados necessários à alimentação do software de modelamento não foram suficientes, principalmente sobre a presença de fraturas de alívio, as quais controlam o plano ou superfície de corte inferior do maciço durante a lavra.

No sentido de progredir sobre o tema recomenda-se uma base de dados geotécnicos e geológicos mais ampla, o que será atingido com o avanço da pesquisa e da lavra na pedreira. Como regra geral à medida que a lavra progride, novos dados sobre a rocha e sobre o maciço são obtidos, possibilitando a atualização do modelo digital. A importância de dados sobre a geologia de depósitos de rochas ornamentais é enfatizada no texto.

Como sugestão para continuação do presente tema de pesquisa, apresentam-se as seguintes recomendações:

- Acompanhamento e simulação do avanço da lavra, com controle de diferentes variedades de rocha originadas de uma mesma pedreira.

- Acompanhamento de reserva de blocos calculados pelo software em comparação com os blocos de valor comercial retirados, obtendo-se assim uma estimativa da recuperação da lavra.
- Modelamento da pedreira com divisão em pastilhas, como fase anterior à modelagem de blocos.
- Incorporação de propriedades físicas e petrográficas como variáveis regionalizadas objetivando o modelamento geoestatístico.

Finalmente como sugestão para trabalho futuro a ser desenvolvido no granito Casablanca recomenda-se melhorar a base de dados, o que somente torna-se possível com o avanço da pesquisa e da lavra na pedreira, podendo o modelo ser utilizado para planejamento da lavra LIMA et al. (2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. v. 3. Fortaleza: IEL/FIEC, 1996.

ANDRADE LIMA, A. **Determinação de Direções e Mergulhos de Planos Geológicos a Partir de Valores Aparentes**. Notas não Publicadas, 2000.

BORTOLUSSI, A. *et al.* **Escavazione e Preparazione del Blocchi di Granito**. Marmi, Graniti e pietri, Milano, n. 162, p. 17-33, 1988.

CARANASSIOS, A. *et al.* **Aplicação de Métodos Informatizados para Estudo de uma Pedreira de Rocha Ornamental**. Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 122, p. 76-80, 1993.

_____. **Aplicação de Software no Planejamento de Lavra de Rochas Ornamentais**. Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 144, p. 84-88, 1999.

CARANASSIOS, A.; TOMI, G.; SILVA, N.S. **Utilização de Software de Mineração no Planejamento de Lavra de Rochas Ornamentais**. Iº Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, p. 150-156. Olinda-PE, 1998.

CEARATOUR. **Mapa do Ceará**. Disponível em: www.secrel.com.br/cearatour, 1999.

CICCU, R. **Curso de Lavra de Mármore e Granitos**. Belo Horizonte – MG. 1993.

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

COURRIER, L.W. **Geological Appraisal of Dimension-Stone Deposits**. Washington, U.S. Govt. Print. Off., 1960.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta Geológica - Folha SC.24-V-D-V (Folha Mombaça) Estado do Ceará, escala 1:100.000**. Fortaleza-CE, 1991.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000.** Fortaleza-CE, 1983.

DEERE, D.U. **Geological consideration.** In: **Rock Mechanics in Engineering Practice.** Editors K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz. Published by John Wiley e Sons, London, p 1-20, 1968.

_____. **Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years,** U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-I, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 67 pp, 1989.

DUARTE, G.W. **Método de Lavra Determina a Eficácia do Rendimento.** Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 138, p. 91-110, 1998.

FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. **Características Tecnológicas de Rochas Silicáticas Brasileiras de Revestimento.** Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 128, p. 56-60, 1996.

GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico – Geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 652, 1997.

ISRM - International Society for Rock Mechanics. **Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring.** E. T. Brown, Editor, Pergamon, Oxford, 1981.

LIMA, A.A.; KALVELAGE, M.R.; DE TOMI, G.; & SILVA, N.S. **Computer Assisted Planning for Extraction of Ornamental Granite.** Mine Planning and Equipment Selection, p. 833-4. Balkema-Rotterdam, 2000.

LIMA, W.B.C.; LIMA, A.A.; DE TOMI, G.; & MEDEIROS, A.H. **Posicionamento Automática de Blocos de Lavra de Rocha Ornamental.** Anais do VI Workshop DATAMINE. Belo Horizonte, 1998.

LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. **Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica.** São Paulo: Edgard Blücher; Rio de Janeiro: CNDCT. 528p. 1976.

OBERT, L. & DUVALL, W.I., **Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock.** Wiley, New York, 1967.

OLIVEIRA, J.F. **Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Folha SC.24-V-D-V.** Estado do Ceará, p. 240. Brasília, DNPM/CPRM, 1993.

PALMSTROM, A. **The Volumetric Joint Count – a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Jointing.** Proc. 4th Int. Congr. Int. Assoc. Eng. Geol., Delhi, vol5, p. 221-228, 1982.

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

SUDENE. **Mapa Topografico, folha SB.24-V-D-V. Mombaça-CE, escala 1:100.000.** 1998

DE TOMI, G. **Utilização de Software Técnico para Mineração em Instituições Acadêmicas e de Pesquisa.** I Congresso Ítalo-Brasileiro de Engenharia de Minas. Cagliari-Italia, 1990.

DE TOMI, G; & KALVELAGE, M.R. **Macros para Geração de Modelo de Blocos em Rochas Ornamentais.** Notas não Publicadas, 2001.

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.

_____. **Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará.** Tese(Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 1999.

ANEXO 1

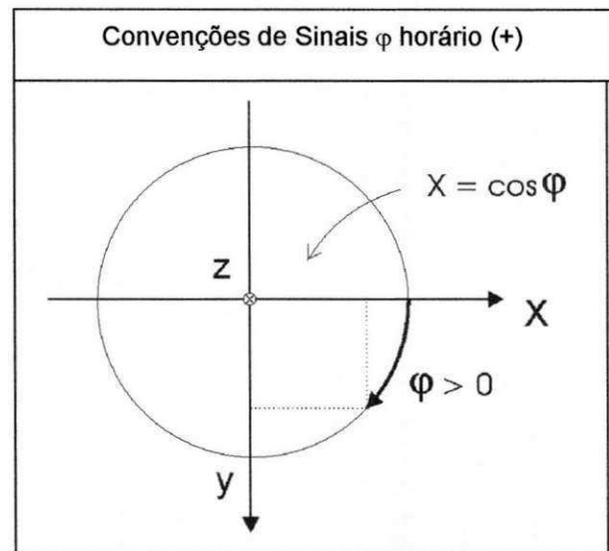
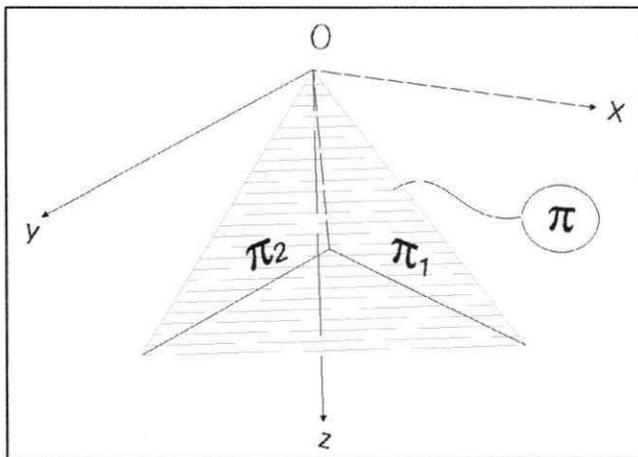
DETERMINAÇÃO DE DIREÇÕES E MERGULHOS DE PLANOS GEOLÓGICOS A PARTIR DE VALORES APARENTES

Em pedreiras com frentes abertas, é possível calcular valores de direções e mergulhos de planos geológicos a partir de medições efetuadas nas faces da rocha nas quais esses planos afloram. Os planos de maior interesse são diques, fraturas, contatos e principalmente foliação. O desenvolvimento aqui apresentado é generalizado, visto que as faces da rocha onde são efetuadas as medições, podem não ser verticais.

Duas opções são aqui desenvolvidas. Na primeira, os cálculos são feitos a partir de direções e mergulhos aparentes medidos com bússola em duas faces da rocha. Na seguinte, os cálculos são feitos a partir dos comprimentos das interseções com plano com três faces da rochas. Esse caso foi incluído aqui, visto que, resulta em elevada precisão na determinação da direção e mergulho verdadeiros do plano da feição geológica, o que é importante principalmente para a foliação.

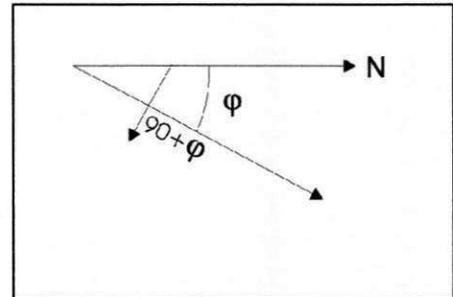
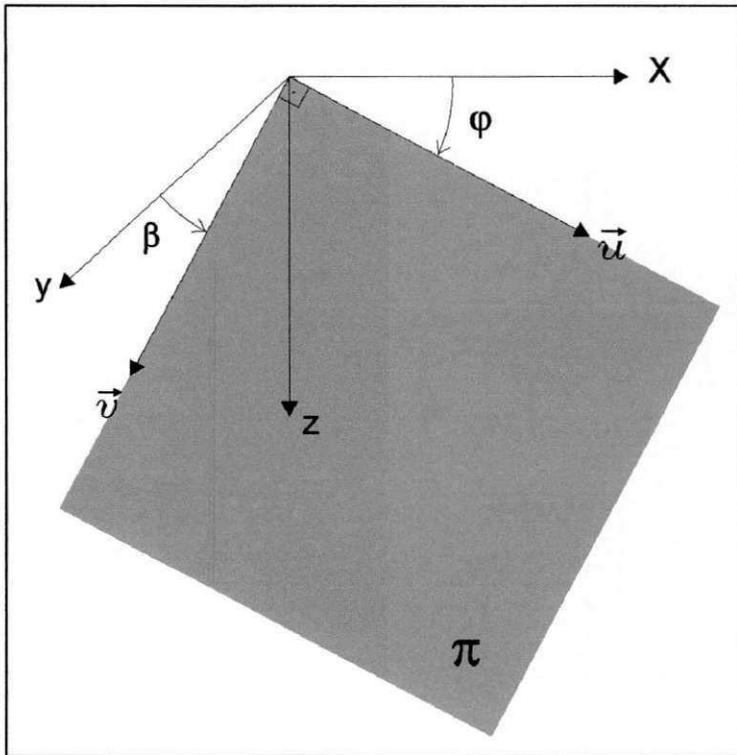
1. Relações Fundamentais

A figura na pagina seguinte estabelece a notação para os elementos geométricos envolvidos.



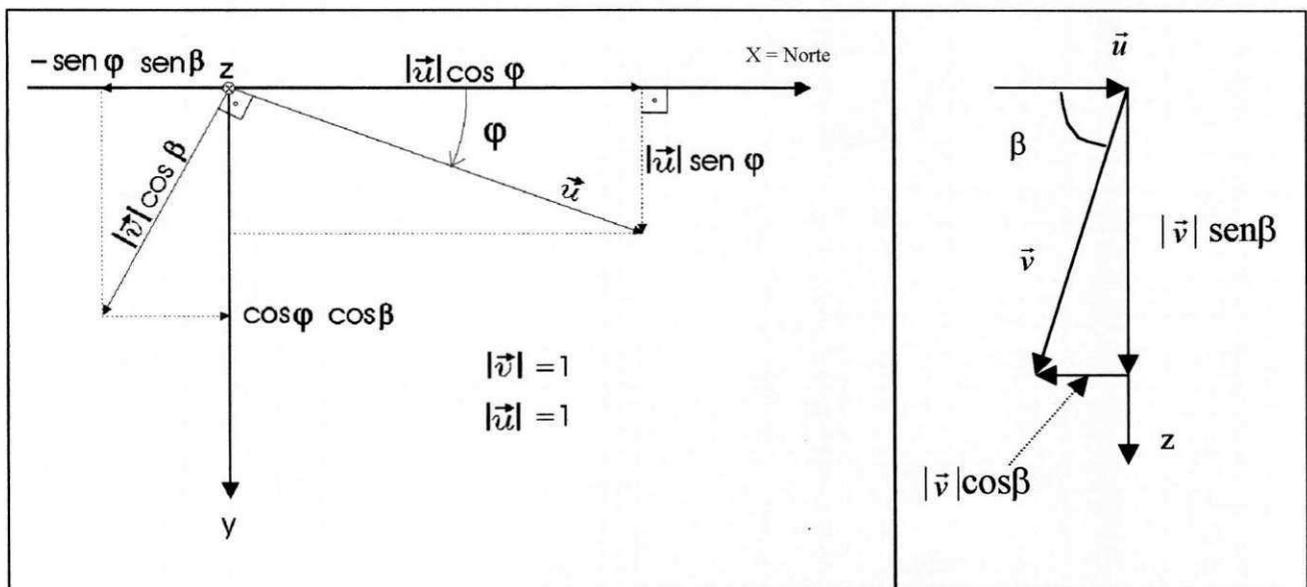
- π_1 plano com direção e mergulhos conhecidos (face da rocha)
- π_2 plano com direção e mergulhos conhecidos (face da rocha)
- π plano de interesse, com direção e mergulho aparentes conhecidos

Equações com base em φ e β



mergulho deve ser tomado à direita da direção do plano

\vec{u} - vetor direção do plano π
 \vec{v} - vetor mergulho do plano π
 sendo $\vec{v} \perp \vec{u}$



$$\vec{u} = (\cos\varphi, \text{sen}\varphi, 0)$$

$$\vec{v} = (-\text{sen}\varphi \cdot \cos\beta, \cos\varphi \cdot \cos\beta, \text{sen}\beta)$$

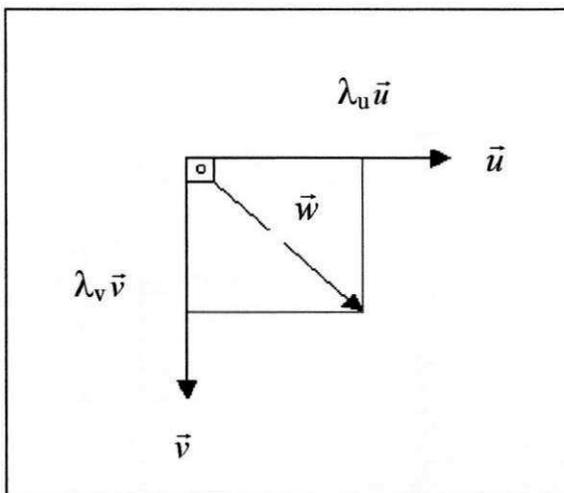
Equações paramétricas do plano π

$$\vec{w} = \lambda_u \vec{u} + \lambda_v \vec{v} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

$$\begin{cases} x = \lambda_u \cos \varphi - \lambda_v \operatorname{sen} \varphi \cos \beta \\ y = \lambda_u \operatorname{sen} \varphi + \lambda_v \cos \varphi \cos \beta \\ z = \lambda_v \operatorname{sen} \beta \end{cases}$$

$$\lambda_v = \frac{z}{\operatorname{sen} \beta}$$

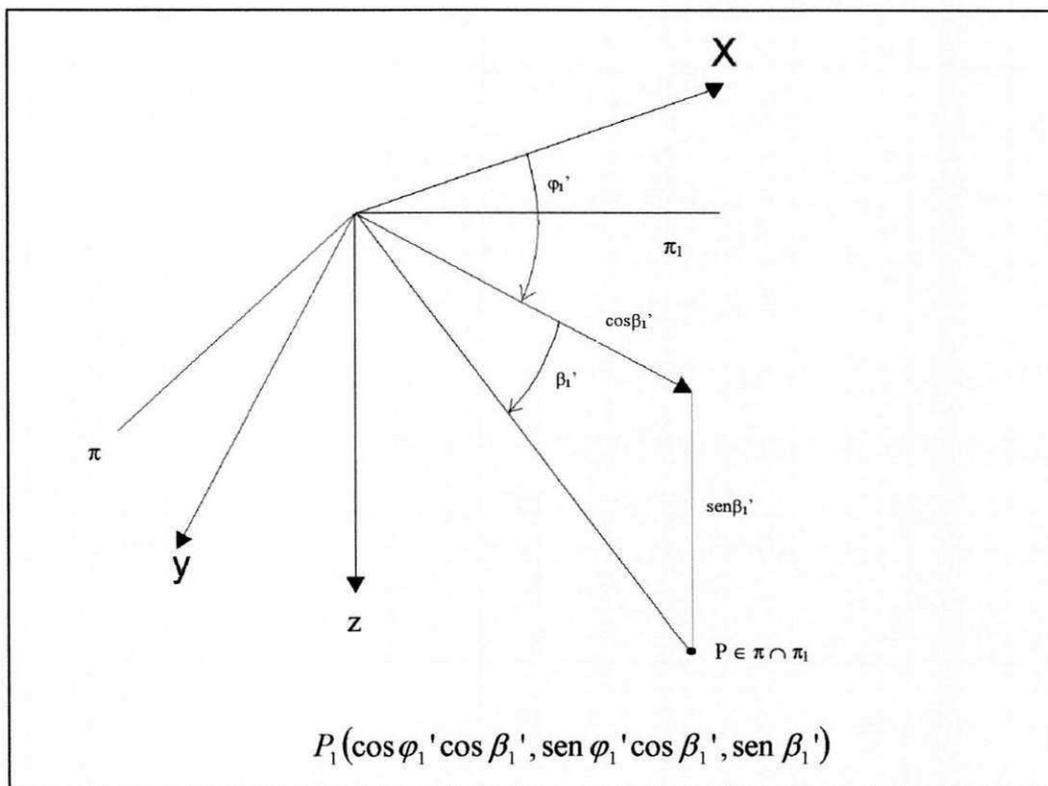
$$\begin{cases} x = \lambda_u \cos \varphi - \operatorname{sen} \varphi \cot \beta \cdot z \times \operatorname{sen} \varphi \\ y = \lambda_u \operatorname{sen} \varphi + \cos \varphi \cot \beta \cdot z \times \cos \varphi \\ x \operatorname{sen} \varphi - y \cos \varphi + (\operatorname{sen}^2 \varphi + \cos^2 \varphi) \cot \beta z = 0 \end{cases}$$



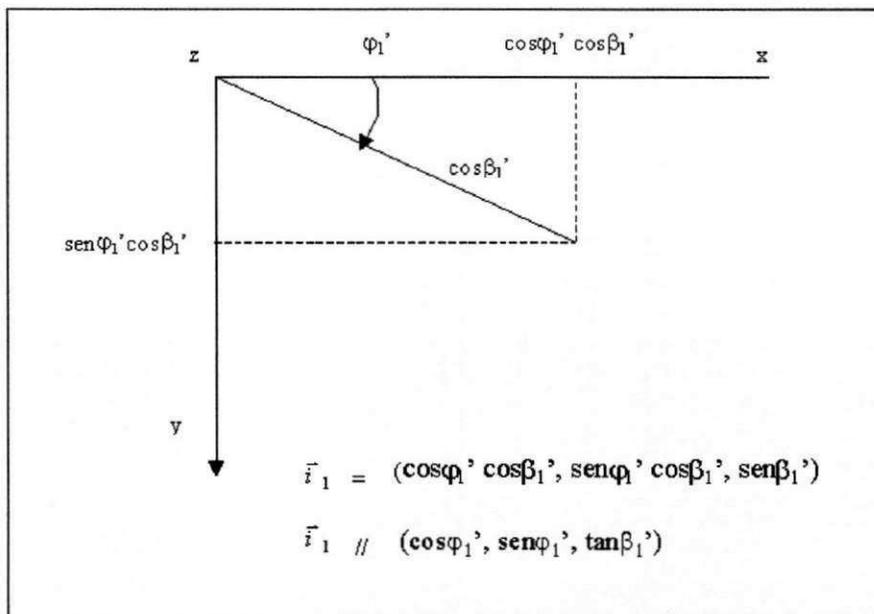
Equações cartesianas de π

$$x \operatorname{sen} \varphi - y \cos \varphi + z \cot \beta = 0$$

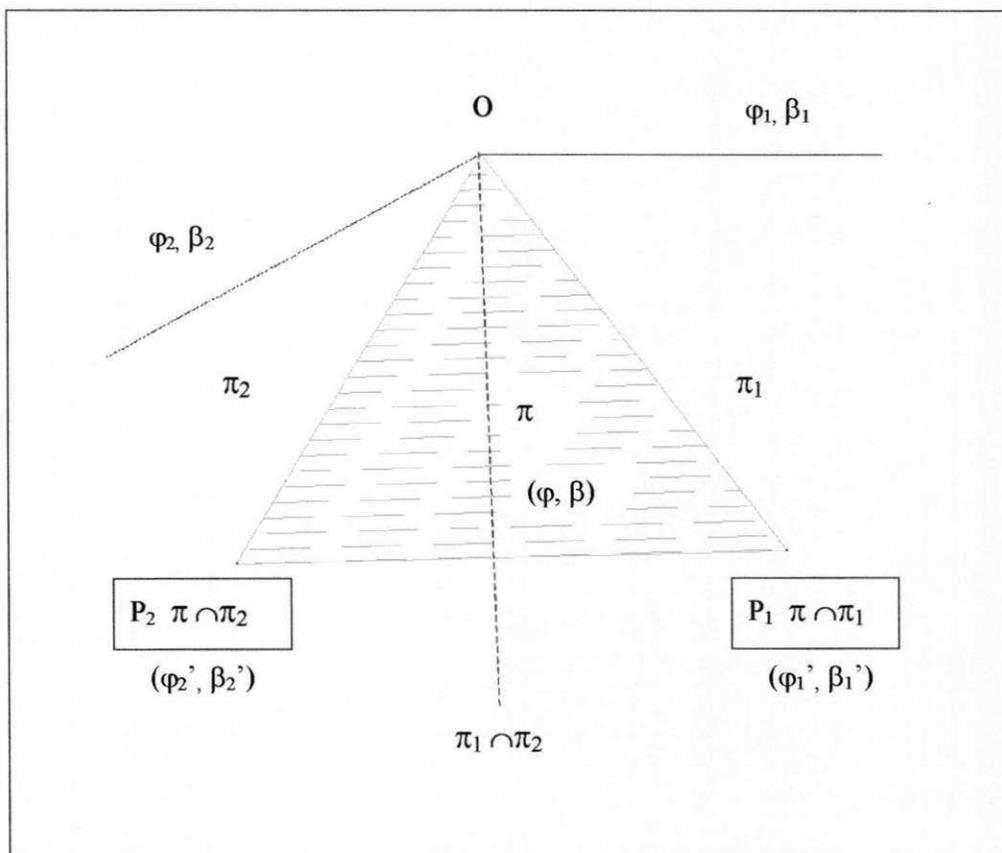
Vetor de interseção $\pi \cap \pi_1$



φ_1' e β_1' direções e mergulhos aparentes de π no plano π_1 conhecido.



Interseções



VALORES SEMPRE MEDIDOS	CASO		MEDIDOS	CALCULADOS
$\varphi_1\beta_1\varphi_2\beta_2$	1	2 direções aparentes (lineações)	φ_1', φ_2'	$\varphi, \beta, \beta_1', \beta_2'$
	2	2 mergulhos aparentes	β_1', β_2'	$\varphi, \beta, \varphi_1', \varphi_2'$
	3	1 direção e um mergulho no mesmo plano	φ_1', β_1'	$\varphi, \beta, \varphi_2', \beta_2'$
	4	1 direção e 1 mergulho aparentes em 2 planos	φ_1', β_2'	$\varphi, \beta, \varphi_2', \beta_1'$

Equações**variáveis**

$$\begin{cases} P_1 \in \pi_1 & \varphi_1' & \beta_1' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 \in \pi_2 & 0 & 0 & \varphi_2' & \beta_2' & 0 & 0 \\ P_1 \in \pi & \varphi_1' & \beta_1' & 0 & 0 & \varphi & \beta \\ P_2 \in \pi & 0 & 0 & \varphi_2' & \beta_2' & \varphi & \beta \end{cases}$$

2 valores conhecidos à direita

$$\pi \quad x \operatorname{sen} \varphi - y \operatorname{cos} \varphi + z \operatorname{cot} \beta = 0$$

$$P_1 (\operatorname{cos} \varphi_1', \operatorname{sen} \varphi_1', \tan \beta_1')$$

$$P_2 (\operatorname{cos} \varphi_2', \operatorname{sen} \varphi_2', \tan \beta_2')$$

Relação direções / Mergulhos aparentes

$$P_1 \in \pi_1: \operatorname{cos} \varphi_1' \operatorname{sen} \varphi_1 - \operatorname{sen} \varphi_1' \operatorname{cos} \varphi_1 + \tan \beta_1' \operatorname{cot} \beta_1 = 0$$

$$\operatorname{sen}(\varphi_1 - \varphi_1') + \tan \beta_1' \operatorname{cot} \beta_1 = 0$$

$$P_1 \in \pi_1 \Rightarrow \operatorname{sen}(\varphi_1' - \varphi_1) = \frac{\tan \beta_1'}{\tan \beta_1}$$

$$\text{se } \beta_1 = 90^\circ, \varphi_1' = \varphi_1$$

$$\text{se } \beta_2 = 90^\circ, \varphi_2' = \varphi_2$$

$$\varphi_1' = \arcsen\left(\frac{\tan \beta_1'}{\cos \beta_1}\right) + \varphi_1$$

$$P_2 \in \pi_2 \Rightarrow \operatorname{cos} \varphi_2' \operatorname{sen} \varphi_2 - \operatorname{sen} \varphi_2' \operatorname{cos} \varphi_2 + \tan \beta_2' \operatorname{cot} \beta_2 = 0$$

$$P_1 \in \pi_2 \Rightarrow \operatorname{sen}(\varphi_2' - \varphi_2) = \frac{\tan \beta_2'}{\tan \beta_2}$$

2 Determinação de φ e β com Base em Direções e Mergulhos Aparentes

Aqui são apresentadas as equações para a primeira opção, que consiste no cálculo de φ e β a partir de direções e mergulhos medidos com bússola.

$$\pi \quad x \operatorname{sen} \varphi - y \operatorname{cos} \varphi + z \operatorname{cot} \beta = 0$$

$$P_1 \quad (\operatorname{cos} \varphi_1', \operatorname{sen} \varphi_1', \tan \beta_1')$$

$$P_2 \quad (\operatorname{cos} \varphi_2', \operatorname{sen} \varphi_2', \tan \beta_2')$$

$$P_1 \in \pi \Rightarrow \operatorname{cos} \varphi_1' \operatorname{sen} \varphi - \operatorname{sen} \varphi_1' \operatorname{cos} \varphi + \tan \beta_1' \operatorname{cot} \beta = 0 \quad (x \tan \beta_2')$$

$$P_2 \in \pi \Rightarrow \operatorname{cos} \varphi_2' \operatorname{sen} \varphi - \operatorname{sen} \varphi_2' \operatorname{cos} \varphi + \tan \beta_2' \operatorname{cot} \beta = 0 \quad [x (-\tan \beta_1)']$$

$$\frac{(\operatorname{cos} \varphi_1' \tan \beta_2' - \operatorname{cos} \varphi_2' \tan \beta_1') \operatorname{sen} \varphi}{(\operatorname{sen} \varphi_1' \tan \beta_2' - \operatorname{sen} \varphi_2' \tan \beta_1')} = \operatorname{cot} \beta$$

$$\tan \tilde{\varphi} = \frac{\operatorname{sen} \varphi_1' \tan \beta_2' - \operatorname{sen} \varphi_2' \tan \beta_1'}{\operatorname{cos} \varphi_1' \tan \beta_2' - \operatorname{cos} \varphi_2' \tan \beta_1'}, \quad -90^\circ < \tilde{\varphi} < 90^\circ$$

$$\tan \tilde{\beta} = \frac{\tan \beta_1'}{\operatorname{sen} \varphi_1' \operatorname{cos} \tilde{\varphi} - \operatorname{cos} \varphi_1' \operatorname{sen} \tilde{\varphi}}$$

$$\tan \tilde{\beta} = \frac{\tan \beta_1'}{\operatorname{sen}(\varphi_1' - \tilde{\varphi})}, \quad -90^\circ < \tilde{\beta} < 90^\circ$$

Onde $\tilde{\varphi}$ e $\tilde{\beta}$ são as direções e mergulhos verdadeiros no domínio -90 a $+90^\circ$

Conversão de domínios

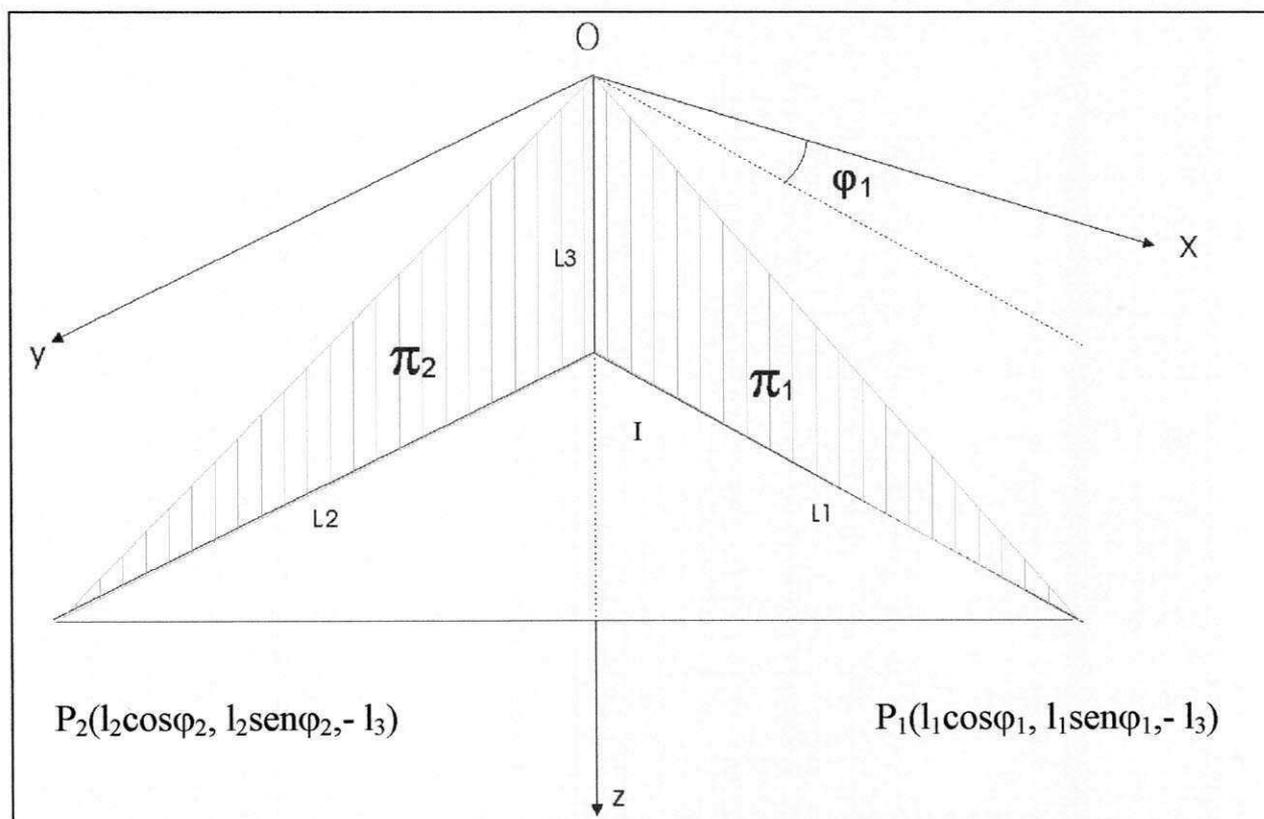
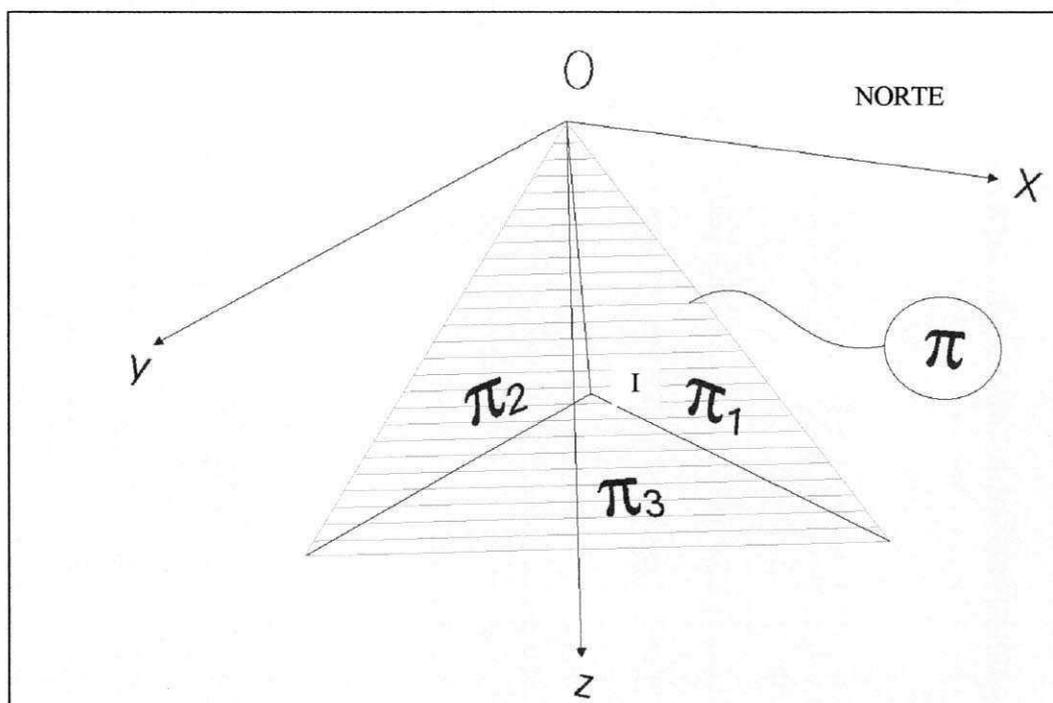
Abaixo são, apresentadas as relações para conversão de $\tilde{\varphi}$ ao domínio 0 a 360° , e $\tilde{\beta}$ ao domínio 0 a 90° .

1. se $\tilde{\varphi} < 0^\circ$
 $\varphi = 360^\circ + \tilde{\varphi}$
2. se $\tilde{\varphi} > 360^\circ$
 $\varphi = \tilde{\varphi} - 360^\circ$
3. se $\tilde{\beta} < 0$
 $\beta = 180 + \tilde{\beta}$
 $\varphi = 180^\circ + \varphi$
4. se $\varphi > 360^\circ$
 $\varphi = \varphi - 360^\circ$

3. Cálculo de φ e β a partir de comprimentos de interseções

Caso geral: os planos de corte π_1 e π_2 podem não ser verticais, e o plano π_3 pode não ser horizontal.

Caso particular de interesse: os planos de corte π_1 e π_2 são verticais, e π_3 é horizontal ($I \in z$).



Onde L1, L2 e L3 são os comprimentos das interseções de π .

$$L_1 \cos \varphi_1 \sin \varphi - L_1 \sin \varphi_1 \cos \varphi - \frac{L_3 \cot \beta}{L_1} = 0$$

$$L_2 \cos \varphi_2 \sin \varphi - L_2 \sin \varphi_2 \cos \varphi - \frac{L_3 \cot \beta}{L_2} = 0 \quad (-1)$$

$$\sin \varphi (L_1 \cos \varphi_1 - L_2 \cos \varphi_2) = \cos \varphi (L_1 \sin \varphi_1 - L_2 \sin \varphi_2)$$

$$\tan \tilde{\varphi} = \frac{L_1 \sin \varphi_1 - L_2 \sin \varphi_2}{L_1 \cos \varphi_1 - L_2 \cos \varphi_2} \quad 90^\circ < \tilde{\varphi} < 90^\circ$$

$$\sin (\varphi - \varphi_1) = \frac{L_3 \cot \beta}{L_1}$$

$$\tan \tilde{\beta} = \frac{L_3}{L_1 \sin (\varphi - \varphi_1)} \quad 0 < \beta < 180^\circ$$

$$\tan \tilde{\beta} = \frac{L_3}{L_2 \sin (\varphi - \varphi_2)} \quad \text{verificação}$$

converter para $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$, $0^\circ < \beta < 90^\circ$

4. Aplicação na Prática

Foi medida a foliação na área de concessão do granito Casablanca através de azimutes e mergulhos, e de comprimentos de interseção. A fim de comparar a precisão da técnica, foi feita a medição direta no piso da pedreira, obtendo-se os valores mostrados na Tabela abaixo.

Foliação na Pedreira do granito Casablanca

Forma mais precisa para determinar a direção da foliação	Direção	Mergulho
Azimute e mergulhos aparentes	19,0°	34,6°
Azimute e comprimento das interseções	14,0°	34,5°
Medição direta de direção no piso	15,0°	-

Fica portanto, evidenciada a melhor precisão do cálculo com base na medição dos comprimentos.

Para melhor visualização dos conceitos aqui abordados, conforme a Figura a seguir, onde está realçado o plano da foliação da rocha.



Faces de um corte na pedreira

ANEXO 2**Designação da Qualidade da Rocha – (RQD)**

O presente anexo, foi aqui incluído no sentido de tornar o trabalho mais completo, tendo em vista que o RQD não tem sido ainda adotado extensivamente no campo de rochas ornamentais.

O RQD, em uma visão simplista, é um parâmetro de caracterização dos maciços rochosos.

Foi desenvolvido por Deere D.U., a partir de 1964; sendo publicado pela primeira vez em 1968. Deere pretendia utilizar o RQD para classificação das rochas, levando em consideração o índice obtido em sondagens com recuperação de testemunhos. Esta análise leva em consideração, apenas o estado de fraturamento e alteração do maciço rochoso (descontinuidades), semelhante ao critério de Terzaghi; porém, não levando em consideração o tipo litológico.

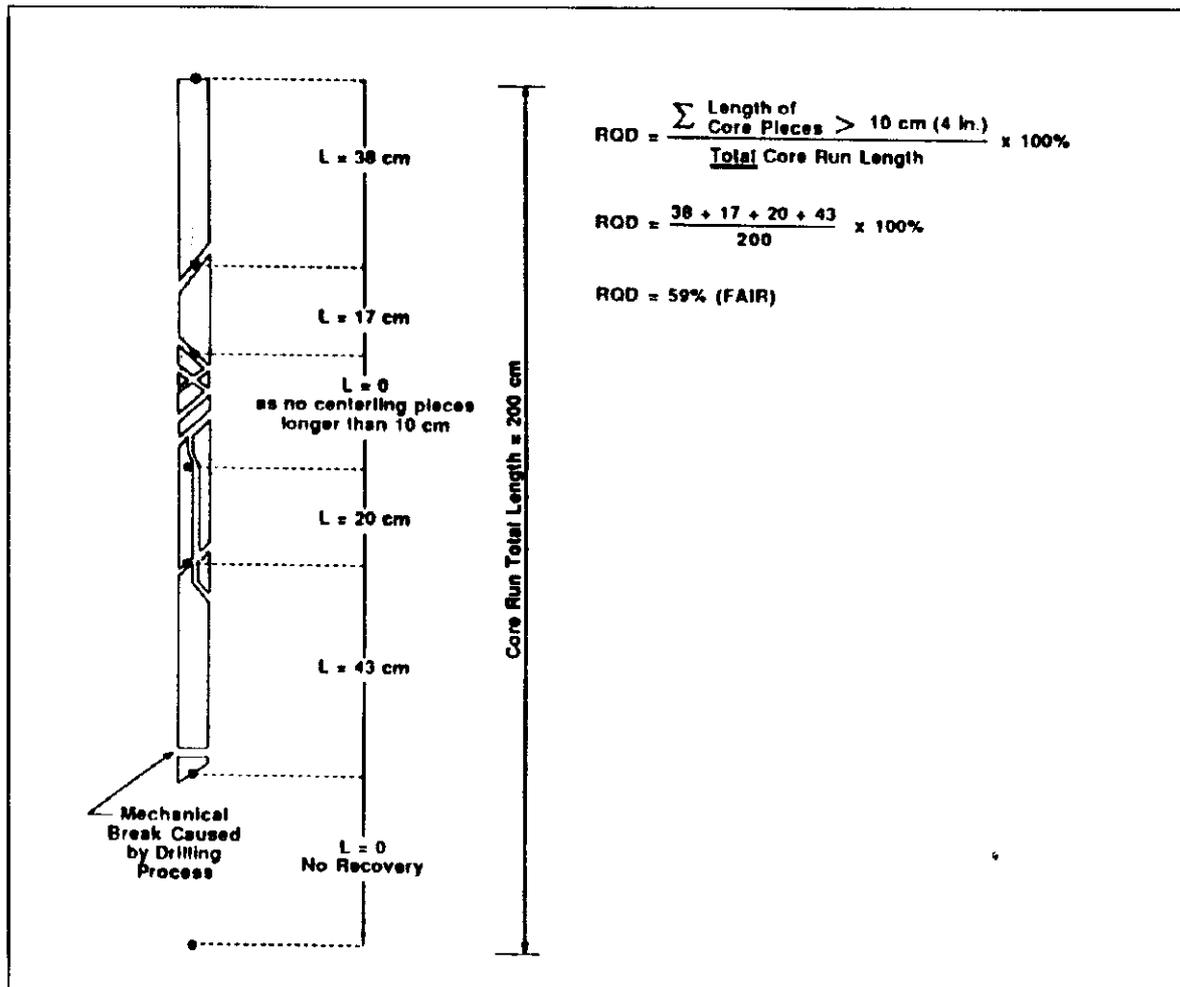
Em 1968; Deere D.U. propôs a seguinte correlação entre RQD e a qualidade do maciço para aplicação em engenharia:

RQD(%)	Qualidade da Rocha
< 25	Muito Fraco
25 - 50	Fraco
50 - 75	Médio
75 - 90	Satisfatório
90 - 100	Excelente

Para a determinação do RQD, a ISRM (International Society for Rock Mechanics) recomenda um diâmetro mínimo de NX (54,7mm) para o testemunho, com a utilização de barrilete amostrador duplo.

Segundo DEERE (1968), o RQD pode ser definido como a razão entre o total de partes intactas com comprimentos ≥ 100 mm de testemunho recuperado, em relação ao comprimento total do furo.

Para o cálculo de RQD, a sondagem é analisada, sendo utilizadas para os cálculos, amostras com comprimento superior a 100 mm. Os procedimentos de cálculos do RQD, são demonstrados na Figura a seguir:



Procedimento para medida e cálculo do RQD (DEERE, 1989)

Quando não é possível a obtenção de testemunhos de sondagem para o cálculo do RQD, existe uma possibilidade sugerida por PALMSTROM (1982). O autor realiza uma estimativa do índice, a partir do número de descontinuidades por unidade de volume, onde o número de juntas por metro para cada família de juntas, é somado. A equação utilizada na conversão para maciços rochosos que não apresentem argilas é:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

Onde J_v representa o número total de juntas por metro cúbico, podendo ser estimado com a contagem das juntas que interceptam as superfícies do maciço rochoso.

O RQD está correlacionado à alteração do maciço e espaçamento de suas fraturas.

Como restrições, o RQD apresenta a limitação de depender da inclinação do furo em relação à família dominante de descontinuidades, tendo portanto, um valor não único para um mesmo maciço.

Com relação de aplicação ao caso específico granito Casablanca, observou-se um número de partições dos testemunhos, além do esperado, em decorrência da foliação da rocha.

Podemos inferir também que, o estado de elevadas tensões pré-existentes contribui para o aumento da densidade de fraturas nos testemunhos analisados.

ANEXO 3

Macros Para Geração de Modelo de Blocos em Rochas Ornamentais

Macro do prototipo horizontalizado

!START BLOCOS

Cria prototipo horizontalizado

```
!ORIGIN &IN(pltlat),&OUT(protorot),*X(XP),*Y(YP),*Z(ZP),
  @ANGLE1=0.0,@ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=1.0,
  @ROTAXIS2=1.0,@ROTAXIS3=3.0,@MARGIN=30.0,@XINC=1.6,
  @YINC=3.3,@ZINC=1.9
```

Preenche blocos abaixo topografia

```
!CDTRAN &IN(pltlat),&OUT(pltlatr),&PROTOROT(protorot),*X(XP),
  *Y(YP),*Z(ZP),*NEWX(XP),*NEWY(YP),*NEWZ(ZP),@ANGLE1=0.0,
  @ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=3.0,@ROTAXIS2=1.0,
  @ROTAXIS3=3.0,@X0=0.0,@Y0=0.0,@Z0=0.0,@XR0=0.0,
  @YR0=0.0,@ZR0=0.0,@FACTOR=1.0,@INVERSE=0.0
!TRIFIL &PROTO(protorot),&MODEL(xxmod2),&WIRETR(trlat),&WIREPT(pltlatr),
  *ZONE(ZONE),@MODLTYPE=3.0,@ZONE=1.0,@MAXDIP=0.0,
  @SPLITS=0.0,@PLANE='XY ',@XSUBCELL=2.0,@YSUBCELL=2.0,
  @ZSUBCELL=2.0,@RESOL=0.0
```

Marca blocos abaixo do nivel base (435.46)

```
!CDTRAN &IN(ptbase),&OUT(ptbaser),&PROTOROT(protorot),*X(XP),
  *Y(YP),*Z(ZP),*NEWX(XP),*NEWY(YP),*NEWZ(ZP),@ANGLE1=0.0,
  @ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=3.0,@ROTAXIS2=1.0,
  @ROTAXIS3=3.0,@X0=0.0,@Y0=0.0,@Z0=0.0,@XR0=0.0,
  @YR0=0.0,@ZR0=0.0,@FACTOR=1.0,@INVERSE=0.0
!TRIFIL &PROTO(protorot),&MODEL(xxmod3),&WIRETR(trbase),&WIREPT(ptbaser),
  *ZONE(ZONE),@MODLTYPE=3.0,@ZONE=2.0,@MAXDIP=0.0,
  @SPLITS=0.0,@PLANE='XY ',@XSUBCELL=2.0,@YSUBCELL=2.0,
  @ZSUBCELL=2.0,@RESOL=0.0
```

Seleciona apenas os blocos acima do nivel base (435.46)

```
!mgsort &in(xxmod2),&out(xxmod21),*key1(IJK)
!mgsort &in(xxmod3),&out(xxmod31),*key1(IJK)
!addmod &in1(xxmod21),&in2(xxmod31),&out(xxmod4)
!copy &in(xxmod4),&out(xxmod5),ZONE=1
```

Marca blocos padrao: 1.60 x 3.30 x 1.90 e Avalia

```
!gentra &in(xxmod5),&out(modelo)
setc ZONE 99
gec XINC 1.59;gec YINC 3.29
gec ZINC 1.89;setc ZONE 1
mul XX XINC YINC
mul VOL XX ZINC
era XX
end
y
```

```
!mgsort &in(modelo),&out(xxmod6),*key1(ZONE)
!ACCMLT &IN(xxmod6),&OUT(result),*KEY1(ZONE)
!field $1=result,$2=1,$VOL01#=#VOL
!field $1=result,$2=2,$VOL99#=#VOL
!!let $BLO#={1.6*3.3*1.9}
!!let $NUM#=#VOL01#/$BLO#
```

```

!let $NUM#=INT($NUM#)
!prompt
0
0
0 Volume Blocos Inteiros (m3): $VOL01#
0 No. de Blocos Inteiros (un): $NUM#
0
0 Volume Blocos Parciais (m3): $VOL99#
0
1 Continuar [Enter] > '$a',a

!dir &out(xx),XX?
!del &in(xx)
!END

```

Macro do prototipo rotacionado

!START BLOCOS

Cria prototipo rotacionado

```

!ORIGIN &IN(ptlat),&OUT(protorot),*X(XP),*Y(YP),*Z(ZP),
  @ANGLE1=32.0,@ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=1.0,
  @ROTAXIS2=1.0,@ROTAXIS3=3.0,@MARGIN=30.0,@XINC=1.6,
  @YINC=3.3,@ZINC=1.9

```

Preenche blocos abaixo topografia

```

!CDTRAN &IN(ptlat),&OUT(ptlatr),&PROTOROT(protorot),*X(XP),
  *Y(YP),*Z(ZP),*NEWX(XP),*NEWY(YP),*NEWZ(ZP),@ANGLE1=0.0,
  @ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=3.0,@ROTAXIS2=1.0,
  @ROTAXIS3=3.0,@X0=0.0,@Y0=0.0,@Z0=0.0,@XR0=0.0,
  @YR0=0.0,@ZR0=0.0,@FACTOR=1.0,@INVERSE=0.0
!TRIFIL &PROTO(protorot),&MODEL(xxmod2),&WIRETR(trlat),&WIREPT(ptlatr),
  *ZONE(ZONE),@MODLTYPE=4.0,@ZONE=1.0,@MAXDIP=0.0,
  @SPLITS=0.0,@PLANE='XZ ',@XSUBCELL=2.0,@YSUBCELL=2.0,
  @ZSUBCELL=2.0,@RESOL=0.0

```

Marca blocos abaixo do nivel base (435.46)

```

!CDTRAN &IN(ptbase),&OUT(ptbaser),&PROTOROT(protorot),*X(XP),
  *Y(YP),*Z(ZP),*NEWX(XP),*NEWY(YP),*NEWZ(ZP),@ANGLE1=0.0,
  @ANGLE2=0.0,@ANGLE3=0.0,@ROTAXIS1=3.0,@ROTAXIS2=1.0,
  @ROTAXIS3=3.0,@X0=0.0,@Y0=0.0,@Z0=0.0,@XR0=0.0,
  @YR0=0.0,@ZR0=0.0,@FACTOR=1.0,@INVERSE=0.0
!TRIFIL &PROTO(protorot),&MODEL(xxmod3),&WIRETR(trbase),&WIREPT(ptbaser),
  *ZONE(ZONE),@MODLTYPE=3.0,@ZONE=2.0,@MAXDIP=0.0,
  @SPLITS=0.0,@PLANE='XY ',@XSUBCELL=2.0,@YSUBCELL=2.0,
  @ZSUBCELL=2.0,@RESOL=0.0

```

Seleciona apenas os blocos acima do nivel base (435.46)

```

!mgsort &in(xxmod2),&out(xxmod21),*key1(IJK)
!mgsort &in(xxmod3),&out(xxmod31),*key1(IJK)
!addmod &in1(xxmod21),&in2(xxmod31),&out(xxmod4)
!copy &in(xxmod4),&out(xxmod5),ZONE=1

```

```
# Marca blocos padrao: 1.60 x 3.30 x 1.90 e Avalia
!genra &in(xxmod5),&out(modelo)
setc ZONE 99
gec XINC 1.59;gec YINC 3.29
gec ZINC 1.89;setc ZONE 1
mul XX XINC YINC
mul VOL XX ZINC
era XX
end
y

!mgsort &in(modelo),&out(xxmod6),*key1(ZONE)
!ACCMLT &IN(xxmod6),&OUT(result),*KEY1(ZONE)
!field $1=result,$2=1,$VOL01#=VOL
!field $1=result,$2=2,$VOL99#=VOL
!!let $BLO#={1.6*3.3*1.9}
!!let $NUM#=$VOL01#/$BLO#
!!let $NUM#=INT($NUM#)
!prompt
0
0
0 Volume Blocos Inteiros (m3): $VOL01#
0 No. de Blocos Inteiros (un): $NUM#
0
0 Volume Blocos Parciais (m3): $VOL99#
0
1 Continuar [Enter] > '$a',a

!dir &out(xx),XX?
!del &in(xx)
!END
```