

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas

**OTIMIZAÇÃO DA LAVRA NA PEDREIRA DE GRANITO
VERMELHO FREVO, ATRAVÉS DOS RECURSOS DA
SIMULAÇÃO VIRTUAL**

Oberdan José de Santana

Licenciatura em Desenho e Plástica

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Recife, 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

**OTIMIZAÇÃO DA LAVRA NA PEDREIRA DE GRANITO
VERMELHO FREVO, ATRAVÉS DOS RECURSOS DA
SIMULAÇÃO VIRTUAL**

Por

Oberdan José de Santana

Licenciatura em Desenho e Plástica

Trabalho realizado no Laboratório de Planejamento de Lavra- LAPLA-CTG
- UFPE, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral –
PPGEMinas, UFPE.

Recife, 2008

OTIMIZAÇÃO DA LAVRA NA PEDREIRA DE GRANITO VERMELHO FREVO, ATRAVÉS DOS RECURSOS DA SIMULAÇÃO VIRTUAL

DISSERTAÇÃO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de:

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de concentração: Minerais e Rochas Industriais

por

Oberdan José de Santana
(Licenciatura em Desenho e Plástica)

2008

S232o

Santana, Oberdan José de.

Otimização da lavra na pedreira de granito vermelho frevo, através dos recursos da simulação virtual / Oberdan José de Santana. - Recife: O Autor, 2008.

xii, 116 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2008.

Inclui Bibliografia e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Lavra. 3. Rochas Ornamentais. 4. Modelagem Geológica. I. Título.

UFPE

623.26

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-229



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

OBERDAN JOSÉ DE SANTANA

**“OTIMIZAÇÃO DA LAVRA NA PEDREIRA DE
GRANITO VERMELHO FREVO, ATRAVÉS DOS
RECURSOS DA SIMULAÇÃO VIRTUAL”.**

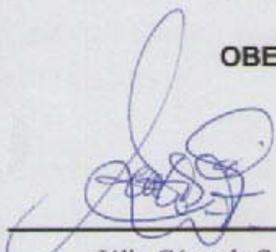
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do

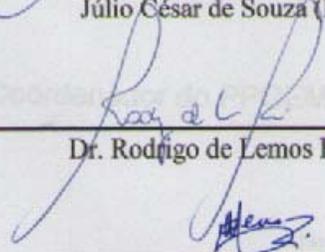
Dr. Júlio César de Souza, considera o candidato.

OBERDAN JOSÉ DE SANTANA, Aprovado.

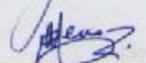
Recife, 26 de agosto de 2008.



Júlio César de Souza (Primeiro Examinador Interno) – Orientador-UFPE



Dr. Rodrigo de Lemos Peroni (Segundo Examinador –Externo) – UFRGS



Dr. Eldemar de Albuquerque Menor (Terceiro Examinador-Externo) UFPE

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de concentração: Minerais e Rochas Industriais, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela banca examinadora do curso de Pós Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

Prof. Dr. Eldemar de Albuquerque Menor
Departamento de Geologia, UFPE

Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni
Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS

Coordenador do PPGEMinas:

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

AGRADECIMENTOS

A Deus por mostrar o caminho da sabedoria, o qual estou seguindo.

A minha esposa, Maria Margarete E. de Santana, por sempre estar presente na conquista dos meus sonhos.

Aos meus pais, por acreditarem na educação maternal.

Agradeço, em especial, ao Prof. Júlio César, pelas orientações, paciência, incentivo, pelos ensinamentos transmitidos, colaboração e principalmente pela oportunidade de realizar este trabalho.

A turma do mestrado da UFPE, pela ajuda indispensável nos momentos difíceis, em especial a Voleide e a Suely.

Agradeço também ao Prof. José Carlos, por sempre estar presente, incentivando todos nós ao sucesso.

Agradeço também ao Geólogo Vanildo A. Mendes da CPRM, por sempre estar presente, incentivando e compartilhando no levantamento de campo.

“Determinação, coragem e auto confiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

Dalai Lama

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS	XIX
LISTA DE TERMOS TÉCNICOS.....	XX
ANEXOS	XXI
RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUÇÃO	4
JUSTIFICATIVA.....	4
OBJETIVOS	5
METODOLOGIA.....	7
ABRANGÊNCIA	8
CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
1.1 Lavra de Rochas Ornamentais.....	10
1.1.1 Fases de Exploração.....	10
1.1.2 Tipologias de Lavra de Rochas Ornamentais	11
1.1.3 Metodologias de Lavra de Rochas Ornamentais	16

1.1.4 Lavra de Matacões.....	17
1.1.5 Lavra por Painéis Verticais.....	19
1.1.6 Lavra Seletiva	20
1.1.7 Lavra por Desmoronamento.....	20
1.1.8 Lavra por Bancadas	22
1.1.8.1 Lavra por Bancadas Baixas	22
1.1.8.2 Lavra por Bancadas Altas	23
1.1.9 Lavra Subterrânea	25
1.2 Tecnologias de Corte	27
1.2.1 Corte com Perfuração e Explosivos	28
1.2.2 Perfuração Contínua	30
1.2.3 Divisão Através de Agentes Expansivos.....	31
1.2.4 Divisão Mecânica Através de Cunhas.....	33
1.2.5 Fio Helicoidal.....	34
1.2.6 Fio Diamantado.....	35
1.2.7 Cortador de Braço com Corrente Dentada.....	36
1.2.8 Cortador de Braço com Cinta Diamantada.....	37

1.2.9 Jet Flame	38
1.2.10 Jato D'água sob Pressão	39
1.3 Técnicas e Softwares de Modelamento Digital.....	40
1.3.1 Aplicativo para Geração de Curvas de Nível SURFER.....	40
1.3.2 Aplicativo de Projetos Bi e Tridimensional AUTOCAD	41
1.3.3 Aplicativo para Projeto Tridimensional e Animação Virtual 3D STUDIO	42
1.4 Características Geográficas e Geológicas do Sítio Jaú, Sertânia - PE	43
1.4.1 Localização e Vias de Acesso.....	43
1.4.2 Geologia.....	45
1.4.2.1 Geologia Regional	45
1.4.2.2 Geologia Local	47
1.4.3 Aspectos Fisiográficos e Sócio-Econômicos.....	49
1.4.3.1 Relevo.....	50
1.4.3.2 Vegetação.....	50
1.4.3.3 Clima.....	50
1.4.3.4 Hidrografia	51
1.4.3.5 Perfil Sócio-Econômico (IBGE)	51

CAPÍTULO II – METODOLOGIA EXPERIMENTAL	52
2.1 Levantamento de Campo	52
2.2 Coleta de Dados.....	53
2.3 Ciclos de Produção da Lavra de Blocos Ornamentais - Bancadas Baixas	54
2.4 Ciclos de Produção da Lavra de Blocos Ornamentais - Bancadas Altas	59
CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.1. Elaboração dos Modelos Topográficos	69
3.2. Elaboração do Modelo Geológico	71
3.3. Elaboração do Mapa Estrutural	73
3.4. Desenvolvimento do Modelo Experimental em 3D.....	74
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PRELIMINAR	80
4.1 Infra-Estrutura	81
4.1.1 Considerações Gerais.....	81
4.1.2 Desenvolvimento.....	81
4.1.3. Recuperação de Vias de Acesso	82
4.1.4 Remoção da Vegetação, Solo Superficial e Estocagem	83

4.1.5 Construção da Praça de Trabalho	83
4.1.6 Pátio de Depósito e Embarque de Blocos.....	84
4.1.7 Drenagem da Pedreira.....	84
4.1.8 Edificações.....	84
4.1.9 Depósitos de Explosivos	85
4.1.10 Sistemas de Captação e Abastecimento de Água	85
4.2 Lavra	87
4.2.1 Método de Lavra – Maciço	87
4.2.2 Técnicas de Corte e Desmonte.....	88
4.2.3 Escala de Produção	89
4.2.4 Regime Operacional	89
4.2.5 Seleção da Frente Inicial de Lavra.....	89
4.2.6 Preparação da Praça	90
4.2.7 Divisão Vertical do Bloco Primário de Lavra	90
4.2.8 Carregamento e Transporte dos Blocos	91
4.2.9 Armazenamento de Blocos	91
4.2.10 Deposição de Estéril/ Rejeito	91

4.2.11 Seleção dos Equipamentos de Lavra.....	91
4.2.12 Fio Diamantado.....	92
4.2.13 Perfuratriz Fundo Furo	93
4.2.14 Perfuratrizes Manuais Leves.....	93
4.2.15 Afiador de Brocas.....	94
4.2.16 Compressor Portátil	94
4.2.17 Pá-Carregadeira.....	94
4.2.18 Veículos para Pequenos Serviços	95
4.3 Recursos Humanos	95
4.4 Armazenamento e Uso de Pólvora e Acessórios	95
4.5 Suprimento de Energia.....	96
4.6 Avaliação Econômica da Lavra	96
4.6.1 Introdução	96
4.6.2 Investimento Inicial.....	98
4.6.3 Preço Médio de Vendas	99
4.6.4 Receita Estimada	99
4.6.5 Custos.....	100

4.6.6 Mão-de-Obra	101
4.6.7 Insumos.....	101
4.6.8 Manutenção	102
4.6.9 Transporte.....	103
4.6.10 Depreciação	103
4.6.11 Despesas Financeiras.....	104
4.6.12 Despesas Comerciais	104
4.6.13 Despesas Tributárias e Indenizatórias	104
4.6.14 Despesas Administrativas	105
4.6.15 Resumo do Custo Total Mensal	105
4.6.16 Receitas	106
4.6.17 Lucros	106
4.7 Conclusão da Análise Econômica Preliminar	107
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES FINAIS E SUGESTÕES	108
Referências Bibliográficas	111
ANEXOS	116

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 – Pedreira de matacão com utilização de argamassa expansiva.
- FIGURA 02 – Pedreira em flanco de granito Giallo Califórnia no município de Dores do Guanhães – MG.
- FIGURA 03 – Pedreira em fossa do granito Branco Ceará, no município de Santa Quitéria – CE.
- FIGURA 04 – Lavra em poço (Cachoeiro do Itapemirim - ES).
- FIGURA 05 – Lavra subterrânea de quartzito Azul Imperial, no município de Oliveira dos Brejinhos – BA.
- FIGURA 06 – Entrada da lavra subterrânea de quartzito Azul Imperial, no município de Oliveira dos Brejinhos BA.
- FIGURA 07 – Foto de mega matacão do granito Azul Bahia exposto na encosta do morro.
- FIGURA 08 – Matacão de rocha granítica exposta na superfície do terreno - Ribeira (SP).
- FIGURA 09 – Frente de lavra por painel vertical.
- FIGURA 10 – Fraturas naturais no maciço rochoso adequada para o uso de lavra seletiva.
- FIGURA 11 – Lavra por desmoronamento do granito Juparaná Bahia no município de Macarani – BA.
- FIGURA 12 – Lavra por bancadas baixas.
- FIGURA 13 – Lavra por bancadas altas (granito Golden Moon).
- FIGURA 14 – Lavra por bancadas altas (granito Blue Pegaso).
- FIGURA 15 – Lavra subterrânea – região de Carrara, Itália.
- FIGURA 16 – Corte com perfuração e utilização de argamassa expansiva, Sítio Jaú, Sertânia – PE.
- FIGURA 17 – Corte com fio diamantado, Sítio Jaú, Sertânia – PE.
- FIGURA 18 – Perfuração coplanar horizontal.
- FIGURA 19 – Perfuração coplanar vertical.

- FIGURA 20 – Detalhe da frente de lavra na pedreira de granito Marrom Guaíba, Cachoeira do Sul - RS.
- FIGURA 21 – Aplicação da pasta cremosa nos furos (Villaschi & Sabadini, 2000).
- FIGURA 22 – Corte com o uso da argamassa expansiva (Villaschi & Sabadini, 2000).
- FIGURA 23 – Processo manual de esquadramento de blocos com o uso de cunhas.
- FIGURA 24 – Emprego do fio helicoidal, Ceará – CE.
- FIGURA 25 – Fio diamantado: detalhe das pérolas e da máquina motriz.
- FIGURA 26 – Cortador a corrente sobre trilhos executando corte vertical.
- FIGURA 27 – Cortadeira de braço com cinta diamantada.
- FIGURA 28 – Uso do jato térmico no corte da rocha.
- FIGURA 29 – Máquina de “water Jet” em operação, Sardenha – Itália.
- FIGURA 30 – Planta topográfica arquivo bidimensional e o modelo tridimensional.
- FIGURA 31 – Interface do software AUTOCAD em detalhe o mapa geológico do Sítio Jaú, Sertânia – PE.
- FIGURA 32 – Interface do software 3D STUDIO MAX em detalhe a criação do volume da pedreira do Sítio Jaú.
- FIGURA 33 – Mapa de acesso à área da pedreira do granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE.
- FIGURA 34 – Divisão do território brasileiro em faixas de geologia regional, segundo Schobbenhaus (1984).
- FIGURA 35 – Modelo da geologia regional onde está localizado o complexo Sertânia
- FIGURA 36 – Geologia local da região de Sertânia – PE (fonte: SIGMINE, DNPM/DICAM, 2008)
- FIGURA 37 – Migmatito róseo avermelhado bastante deformado (granito Vermelho Frevo).
- FIGURA 38 – Dique de rocha granítica de coloração rósea na área do Sítio Jaú.
- FIGURA 39 – Detalhe da vegetação predominante na área do Sítio Jaú.
- FIGURA 40 – Observação das fraturas encontradas entre os pontos 2 e 3 da “scanline”.

FIGURA 41 – Mapa topográfico bidimensional gerado no aplicativo SURFER 8.0.

FIGURA 42 – Superfície sólida da topografia em 3D gerada no aplicativo SURFER 8.0.

FIGURA 43 – Entrada de Dados no aplicativo SURFER 8.0.

FIGURA 44 – Ativando o comando GRID e em seguida DATA.

FIGURA 45 – Abrir um arquivo de dados.

FIGURA 46 – Janela para alterar os parâmetros de entrada para a geração do GRID.

FIGURA 47 – Relatório de informação do grid.

FIGURA 48 – Contour map.

FIGURA 49 – Planta topográfica da pedreira do Sítio Jaú.

FIGURA 50 – File export.

FIGURA 51 – Export (*.dxf).

FIGURA 52 – Abrindo um arquivo (*.dxf) no aplicativo AUTOCAD.

FIGURA 53 – Arquivo aberto na área de trabalho do AUTOCAD.

FIGURA 54 – Menu Draw: inclusão de um ponto por coordenadas.

FIGURA 55 – Representando um ponto por coordenadas.

FIGURA 56 – Trocando o tipo de ponto.

FIGURA 57 – Representação da frente de lavra 2.

FIGURA 58 – Representação da fratura 110° no ponto P2.

FIGURA 59 – Menu MODIFY: ferramenta EXTEND.

FIGURA 60 – Menu DRAW: ferramenta SPLINE para desenhar linhas curvilíneas.

FIGURA 61 – Janela de configuração da ferramenta de cores e símbolos HATCH.

FIGURA 62 – Menu TOOLS: ferramentas draw order: orientação dos objetos.

FIGURA 63 – Interface do software 3D STUDIO MAX R3.

FIGURA 64 – Arquivo importado para a área de trabalho do 3D STUDIO MAX R3.

- FIGURA 65 – Janela de seleção dos objetos.
- FIGURA 66 – Janela de acesso às propriedades.
- FIGURA 67 – Janela TOP mostrando as curvas para receber a malha de pontos.
- FIGURA 68 – Comando: Trocar o cursor para select and move.
- FIGURA 69 – Pasta create subpasta geometry para ativar o comando PLANE.
- FIGURA 70 – Janela para converter um plano em uma malha editável.
- FIGURA 71 – Ferramentas de aproximação.
- FIGURA 72 – Janela para criação de vértices.
- FIGURA 73 – Construção dos vértices na curva de altitude 685 m.
- FIGURA 74 – Elevação dos vértices para cota correta.
- FIGURA 75 – Processo para criação da superfície.
- FIGURA 76 – Visualização da superfície.
- FIGURA 77 – Representação do volume da pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia – PE
- FIGURA 78 – Perspectiva cônica do maciço rochoso com as frentes de lavra existentes na pedreira do Sítio Jaú.
- FIGURA 79 – Visualização dos diques pegmatíticos (graníticos), corpos rochosos sem valor comercial no modelo digital da pedreira do Sítio Jaú.
- FIGURA 80 – Planta topográfica da área explotável elaborada no software SURFER a partir dos dados coletados em campo.
- FIGURA 81 – Modelo tridimensional da área explotável elaborado no software SURFER.
- FIGURA 82 – Representação gráfica das duas frentes de lavra abertas e desativadas na área da pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia – PE.
- FIGURA 83 – Mapa geológico local da área da pedreira do granito Vermelho Frevo - Sítio Jaú, Sertânia – PE.
- FIGURA 84 – Mapa estrutural da área da pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia – PE.

FIGURA 85 – Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado nas direções 50°Az e 350°Az .

FIGURA 86 – Criação da malha editável (editable mesh).

FIGURA 87 – Superfície pronta com as duas frentes de lavra existentes e desativadas.

FIGURA 88 – Distribuição dos blocos no sentido das frentes de lavra existentes.

FIGURA 89 – Distribuição dos blocos no sentido da fratura principal 350°Az .

FIGURA 90 – Distribuição de blocos verticais no sentido da fratura principal 350°Az .

FIGURA 91 – Futuras instalações administrativas da pedreira Sítio Jaú, Sertânia - PE.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas baixas.

Tabela 02 – Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas altas.

Tabela 03 – Recuperação estimada da jazida nas simulações realizadas.

Tabela 04 – Investimento capital em equipamento.

Tabela 05 – Investimentos operacionais.

Tabela 06 – Investimento inicial.

Tabela 07 – Quadro de mão-de-obra.

Tabela 08 – Insumos.

Tabela 09 – Manutenção.

Tabela 10 – Depreciação.

Tabela 11 – Resumo do Custo Total Mensal.

Tabela 12 – Dados geológicos e estruturais do levantamento “in situ” na pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú – Sertânia – PE.

Tabela 13 – Levantamento planialtimétrico da pedreira do Sítio Jaú, Sertânia-PE.

Tabela 14 – Coordenadas da bancada frente 2.

Tabela 15 – Coordenadas da bancada frente 3.

Tabela 16 - Coordenadas da bancada frente 4.

LISTA DE TERMOS TÉCNICOS

Blocos – Volume de rocha ornamental em forma de paralelepípedo com dimensões adequadas aos equipamentos de corte.

Cubagem – Levantamento quantitativo dos blocos com medidas comerciais do volume total da pedreira.

Jazida – Ocorrência de minerais constituindo um depósito na crosta terrestre (GUERRA & GUERRA, 1997), apresentando viabilidade econômica

Pastilha – Subdivisão primária de rocha ornamental retirada do maciço rochoso da qual são retirados os blocos.

Renderizada – Representação de arquivos com texturas, sombras e realidade virtual.

Realidade Virtual – Situações criadas no computador em 3 dimensões que representam cenas do nosso cotidiano.

ANEXOS

Tabela 1 – Dados geológicos e estruturais do levantamento “in situ” na pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia – PE.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas da pedreira Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia-PE.

Tabela 3 - Coordenadas da bancada frente 2.

Tabela 4 - Coordenadas da bancada frente 3.

Resultados estatísticos do aplicativo SURFER 8.0.

Volume total calculado no aplicativo AUTOCAD.

Volume calculado no aplicativo AUTOCAD com as duas frentes de lavra existentes.

Procedimentos para desenvolver os mapas topográficos nos aplicativos SUFER, AUTOCAD e 3D STUDIO MAX.

RESUMO

O objetivo principal desta dissertação compete em comparar o valor comercial do bloco de partição na otimização e seqüenciamento de lavra na pedreira de granito Vermelho Frevo, com os recursos da simulação virtual, usando os softwares conhecidos comercialmente na criação de projetos bidimensionais e tridimensionais e animação virtual. Os softwares aplicados foram o AUTOCAD e 3D STUDIO MAX 3, estes softwares têm uma grande aplicabilidade na arquitetura, engenharia e filmes virtuais respectivamente. Um segundo objetivo é mostrar a possibilidade de se obter o mesmo resultado preciso da morfologia do maciço rochoso com simulações virtuais, mesmo antes na abertura da frente de lavra. Todo processo simulado no computador tem a função de identificar as fraturas e os defeitos existentes no maciço rochoso para obtenção de blocos comerciais de rocha ornamental da pedreira do granito Vermelho Frevo na Cidade de Sertânia - PE. Esse modelo comparativo parte de uma simulação no ponto de vista do valor comercial, entre os blocos retirados na direção da frente de lavra já existente com uma nova frente na direção das fraturas principais, para determinar a direção das bancadas mais lucrativas. A pesquisa envolveu as etapas de revisão bibliográfica; coleta e análise de dados; representação bidimensional e tridimensional da topografia da pedreira e simulação das frentes de lavra. A revisão bibliográfica tem o objetivo de apresentar informações sobre aspectos gerais de lavra em rochas ornamentais, geologia e outras características que envolvem a localidade onde está a pedreira em estudo. Coleta e análise de dados correspondem à visita no local da pedreira para levantamento plani-altimétrico, identificação da foliação e descontinuidades do maciço rochoso e medição de fraturas nos locais de afloramento. A representação bidimensional e tridimensional corresponde à digitalização e modelagem da planta topográfica e da modelagem em 3D, através dos dados colhidos e analisados na etapa de coleta e análise de dados. A simulação trata da modificação na direção da frente de lavra visando determinar a melhor direção das bancadas de produção.

Palavras – chave: Lavra, Rochas Ornamentais, Modelagem Geológica.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation competes in comparing the commercial value of the partition block to exploitation optimization and scheduling in the quarry of granite Red Frevo, with the resources of virtual simulation, using the well-known softwares commercially in the creation of two dimensions and three-dimensional projects and virtual animation. The applied softwares were AUTOCAD and 3D STUDIO MAX 3, these softwares are applicable in the architecture, engineering and virtual films. A second objective is shows the possibility to obtain the same precise result of the massive rock morphology with virtual simulations, before the opening of mining fronts. Whole process simulated in the computer has the function of identifying the fractures and existent defects in the massive rock for obtaining commercial blocks of ornamental rock at Red Frevo granite quarry in the City of Sertânia - PE. That comparative model begins with a simulation in the point of view of commercial value, among the blocks removed the actual mining in front direction companying with a new developed front in the direction of main fractures, to determine the more lucrative bench direction. The research involved the stages of bibliographical revision; collects and analysis of data; bidimensional and three-dimensional representation of the quarry topography and simulation of the mine fronts direction. The bibliographical revision has the objective of presenting information on general aspects of ornamental stone mining, geology and other characteristics that involve the place where is the quarry in study. The collects and analysis of data corresponds to field works at the quarry site for topographic rising , identification of massive roch foliation and discontinuities and fractures mensuration the blooming places. The bidimensional and three-dimensional representation corresponds to digitalize and modeling of topographical plant and 3D modeling, through the field data obtained in the collection stage and analysis of data. The simulation objectives the modification in the mine front direction seeking to determine the best direction of benches to blocs production.

key - Words: Exploitation, Ornamental Stones, Geological Modeling

INTRODUÇÃO

O universo é composto de diferentes elementos, a interação entre os elementos produz novas formas que podem ter vida ou não. As rochas são resultados dessa interação e são geradas no resfriamento do magma de onde os elementos químicos são obtidos formando os minerais constituintes das rochas, através da temperatura e pressão contidas nas profundezas da crosta terrestre. Dependendo do local da sua formação em relação à profundidade, as rochas vão diferenciar uma das outras na constituição mineral, textura e na granulometria dos minerais.

Na sua criação a rocha se apresenta toda compacta em função da pressão existente na profundidade. Na medida em que migra para a superfície o maciço sofre o alívio das tensões e passa a produzir fissuras, fraturas, outros defeitos estruturais e até mesmo alterações mineralógicas. Esses fatores são decisivos na extração de blocos para a produção de chapas.

O projeto de lavra bem elaborado com todas as etapas vencidas desde o levantamento geológico regional até a lavra experimental e definição do mercado promissor conduz a longevidade da mina e a valorização comercial do bloco de rocha ornamental.

JUSTIFICATIVA

A desigualdade geológica regional faz com que os projetos de lavra sejam diferentes. Rochas de um mesmo tipo, mas em locais diferentes têm sua abertura e extração diferenciada. Este processo já vem sendo feito há muito tempo. Todavia com a chegada da informática e com softwares apropriados podemos simular uma frente de lavra em laboratório, corrigir as falhas e os erros que possam ocorrer durante a exploração e simular também a forma e orientação das bancadas mais adequadas para ter-se o aproveitamento máximo no aumento e uma maior recuperação do depósito de rocha ornamental.

Na proposta acima (Otimização da Lavra na Pedreira de Granito Vermelho Frevo, através dos Recursos da Simulação Virtual) o processo de obtenção dos dados terá a mesma relevância, como no processo tradicional, afinal, vamos simular virtualmente para que possamos ter aspectos decisivos sobre o valor do bloco de partição, portanto, a presença de falhas, fraturas, defeitos existentes no maciço rochoso e alterações mineralógicas são fatores importantes para construir um modelo confiável.

Os fatores mencionados acima descreverão a morfologia da rocha, que através de softwares adequados serão digitalizados para se ter uma visão bidimensional e tridimensional do maciço rochoso. Dessa forma podemos representar as fraturas naturais provocadas pelo alívio de tensões desde as profundezas até o afloramento na superfície.

A cada momento surgem técnicas modernas no campo da extração de rocha ornamental. Essas técnicas podem ser absorvidas não somente por softwares apropriados para a indústria mineral, mas por outros softwares que também podem dar a mesma resposta no planejamento da abertura da pedreira: método de lavra; volume do bem mineral (reserva); as falhas e fraturas existentes; as alterações mineralógicas; as foliações e as inclinações de grandes blocos. Essas informações serão úteis para a discretização dos blocos a nível comercial cujas medidas são estipuladas pelas serrarias de acordo com os teares existentes no mercado.

OBJETIVOS

Objetivo geral:

No comércio existem vários softwares apropriados para esse tipo de estudo entre os quais se destacam: o DATAMINE[®], GEMCON[®], VULCAN[®], SURPAC[®]. Não excluindo o mérito de cada software em tela, o mesmo trabalho pode ser elaborado por outros softwares.

Entretanto o desafio para simular uma abertura de lavra e simular também a recuperação da mina com os softwares não desenvolvidos para esse tipo de trabalho é o objetivo central desta dissertação, tendo como softwares âncoras o AUTOCAD, SURFER e 3D STUDIO MAX, três softwares bastante conhecidos nos segmentos da arquitetura, engenharia e cinema virtual.

Objetivos específicos:

1. Realizar o levantamento de campo obtendo informações sobre a topografia, litotipos, fraturas, foliações e características geológicas na área da pedreira do granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE.
2. Desenvolver um modelo topográfico digital na área de lavra e visualização do mesmo em 3 dimensões.
3. Realizar a cubagem da reserva total de granito Vermelho Frevo, incorporando no modelo final as perdas relativas a presença de fraturas e de diques pegmatíticos e graníticos.
4. Elaborar um estudo comparativo da otimização da recuperação da jazida simulando a alteração na direção das bancadas existentes no sentido das fraturas principais levantadas em campo.
5. Elaborar um Estudo de Viabilidade Econômica Preliminar da lavra de blocos ornamentais na pedreira de granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE, da alternativa de maior recuperação obtida em 4.

METODOLOGIA

A pesquisa envolveu as etapas de revisão bibliográfica, coleta de dados em campo, análise dos dados, criação dos modelos: bidimensional e tridimensional em computador e finalmente a interpretação do modelo geológico estrutural visando o desenvolvimento do projeto e planejamento de lavra da pedreira de granito Vermelho Frevo.

A revisão bibliográfica envolve aspectos gerais da lavra de rochas ornamentais, geologia local e regional da pedreira no Sítio Jaú, na Cidade de Sertânia – PE e modelagem geológica com o uso de programas aplicativos.

A coleta de dados no campo engloba o levantamento topográfico planialtimétrico e mapeamento geológico estrutural da pedreira em escala de detalhe (1 : 1.000 e 1 : 500) com indicação das frentes de lavra existentes, as fraturas existentes no corpo do maciço, presença de diques pegmatíticos e graníticos, medição de ângulos relacionados à foliação e medição de ângulos relacionados ao mergulho das fraturas.

A análise de dados compreende a criação de planilha de dados com o objetivo de representar as projeções: bidimensional e tridimensional e o levantamento das características topográficas, das direções de mergulho das fraturas e do modelo geológico com os blocos de partição.

A etapa de digitalização dos dados levantados em campo no computador permite a definição das características geométricas espaciais na área da pedreira. É nesta fase que o modelagem da reserva da pedreira, com blocos de dimensões comerciais, usando o aplicativo Autocad, permite a definição das melhores direções para a abertura das bancadas, visando otimizar a recuperação total da jazida.

A interpretação constitui num modelo comparativo, usando a planilha de dados e os resultados fornecidos pelas projeções gráficas em várias situações para se obter o cálculo da reserva de blocos e determinar o método de lavra que propicie a maior recuperação da jazida.

A partir dos modelos otimizados de direção das bancadas de lavra pode-se elaborar um cálculo preciso de cubagem das reservas de granito, descontando do volume total do maciço as áreas de ocorrência de defeitos litológicos e/ou estruturais.

Com as reservas cubadas e determinação da recuperação total da jazida de granito, pode-se enfim determinar a Viabilidade Econômica Preliminar do empreendimento de abertura e/ou reativação de pedreiras de rocha ornamental, no caso em estudo, da pedreira de granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE.

ABRANGÊNCIA

A dissertação está inserida no contexto geral de estudo de caso, com um desafio computacional de aplicativos inerente ao modelagem da jazida mineral.

A pedreira em estudo é de pequeno porte e possui abertas 3 frentes de lavra, estando suspensas as atividades no momento por motivos relacionados essencialmente com a questão comercial e legal.

A atividade principal de uma pedreira de rocha ornamental é a extração de blocos para a produção de chapas para aplicação como revestimento na construção civil. Essa atividade envolve a técnica de corte do maciço rochoso visando a obtenção de blocos com dimensões comerciais.

O Capítulo I revisa os aspectos básicos de: lavra de rochas ornamentais, tecnologias de corte, técnicas e softwares de modelagem digital e as características geográficas e geológicas da jazida. Esses conteúdos foram inseridos com o objetivo de se ter uma ótica mais abrangente e tornar a dissertação mais completa.

A metodologia experimental é apresentada no Capítulo II que mostra o detalhamento de como foram executados o levantamento de campo, a coleta de dados, a elaboração de mapas topográficos, o planejamento de lavra com software de

realidade virtual, a elaboração do modelo estrutural, o desenvolvimento dos modelos em 3D e a elaboração do mapa geológico local.

O Capítulo III apresenta os resultados obtidos a partir dos modelos desenvolvidos na metodologia experimental, principalmente o cálculo das reservas, o planejamento e o seqüenciamento de lavra.

O Capítulo IV refere-se a metodologia utilizada para fazer-se a determinação da viabilidade econômica do empreendimento, indicando os principais parâmetros técnicos e econômicos relativos a operação de uma pedreira de rocha ornamental.

No Capítulo V são apresentadas as conclusões finais obtidas a partir da análise dos modelos digitais desenvolvidos e da análise de viabilidade econômica realizada, bem como sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Lavra de Rochas Ornamentais

O mármore e o granito cortados em forma de blocos são materiais denominados de rochas ornamentais. Nesse Capítulo é apresentada uma revisão dos principais métodos para extração dos blocos na forma de prismas regulares com dimensões variadas de acordo com a capacidade de processamento dos equipamentos de beneficiamento de rochas ornamentais.

Também são apresentados os principais aspectos relacionados às metodologias de exploração tais como: seqüência de lavra (execução dos cortes), tecnologias, equipamentos e insumos necessários à lavra de blocos de rochas ornamentais.

1.1.1. Fases de exploração

A velocidade de produção de uma pedreira está relacionada principalmente com as fases de exploração dos blocos. Essas fases devem ser planejadas visando a diminuição de operações no corte dos blocos, a seleção do material de alto e baixo valor comercial e a uniformidade do material extraído.

A separação de um grande bloco do maciço rochoso, cuja forma geométrica acompanha mais ou menos as arestas de um paralelepípedo e com dimensões que estejam de acordo com os equipamentos de extração é a primeira fase de exploração. Esse primeiro bloco destacado é denominado de volume primário.

A segunda fase corresponde à subdivisão do bloco primário em blocos menores chamados de pranchas ou pastilhas. Em seguida essas pranchas são tombadas na praça da pedreira formalizando a terceira fase de produção. Na quarta fase a subdivisão das pranchas produz os blocos brutos. Finalmente a quinta fase

corresponde ao emparelhamento dos blocos comerciais, cujas dimensões aproximadas são comprimento entre 2,50m a 3,30m, largura 1,60m à 1,80m e altura 1,80m à 2,20m.

Todas as operações de corte do maciço projetadas estão diretamente relacionadas com determinados fatores geológicos do maciço rochoso como estruturas, direção de estratificação, diaclasamento, direção das fraturas, etc.

1.1.2. Tipologias de Lavra de Rocha Ornamental

Conforme a disposição espacial do material rochoso em relação à superfície, relevo da região e cobertura do material estéril, a extração desse material terá um tipo de lavra a ser empregada. Nesse tópico são apresentadas as tipologias de lavra a céu aberto de rochas ornamentais: pedreira de matacões, pedreira em encosta (flanco), pedreira em cava (open pit), pedreira em poço e lavra subterrânea.

Pedreira de Matacões

Segundo SOUZA (2003), envolve tecnologias de grande simplicidade operacional e de baixo custo e investimento inicial. Pode apresentar problemas ligados à manutenção dos níveis de produção e qualidade de blocos. Os depósitos podem ser “in situ” (matacões que não sofreram transporte) ou os matacões podem ter sido transportados e depositados nos flancos ou vales de encostas.

Normalmente a lavra envolve grande movimentação de solo para desenterrar os matacões. Após expostos os matacões são desdobrados em “talhadas”, normalmente com o emprego da técnica de “fogo raiado”, com uso de pólvora negra.

Essa técnica, em função da obtenção de cortes irregulares, está sendo substituída pelo emprego de agente expansivo (figura 01).

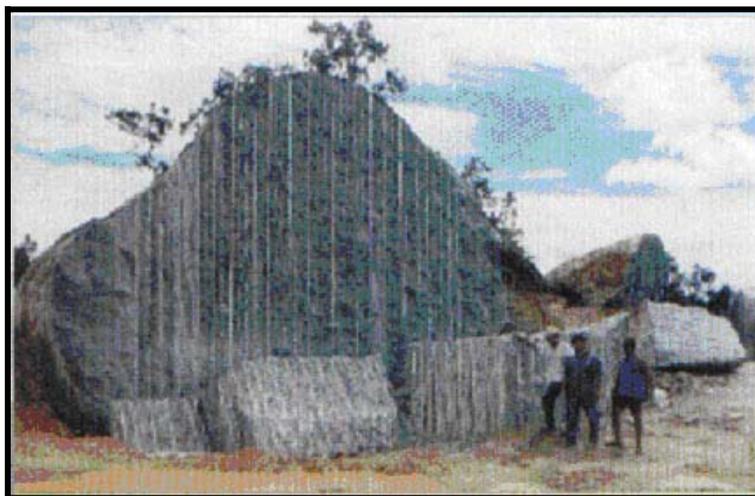


Figura 01 – Pedreira de matação com utilização de argamassa expansiva.

Pedreira em Encosta (Flanco)

O afloramento surge nas encostas das serras, o terreno pode ser pouco ou muito íngreme, a lavra é a céu aberto com facilidade de ampliação lateral e com possibilidade de rebaixamento progressivo (figura 02).



Figura 02 – Pedreira em flanco de granito Giallo Califórnia no município de Dolores do Guanhões – MG.

Pedreira em Fossa (Open Pit)

O afloramento do material rochoso aparece em terrenos planos e a exploração se processa através de uma cava abaixo da superfície. O escoamento da produção e o transporte do equipamento e pessoal são feitos por rampas. Um ponto negativo nesse tipo de pedreira é a presença do nível do lençol freático no aprofundamento da cava, gerando problemas de inundação dos locais de lavra (figura 03).

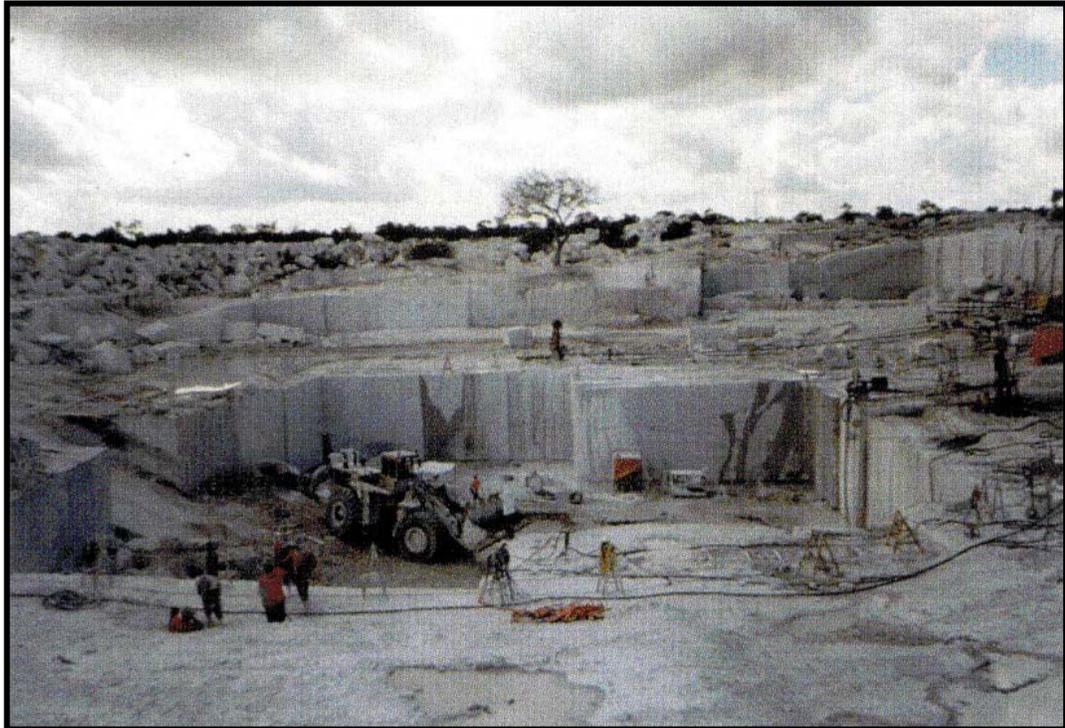


Figura 03 – Pedreira em fossa do granito Branco Ceará, no município de Santa Quitéria – CE.

Pedreira em Poço

Segundo SOUZA (2003), a exploração ocorre abaixo do nível do terreno, sendo a pedreira delimitada por paredes verticais como mostra a figura 04 sem presença de rampas para acesso às frentes, necessitando de equipamentos de elevação fixos para içamento de blocos, máquinas e equipamentos. O acesso do pessoal é realizado por meio de escadas.

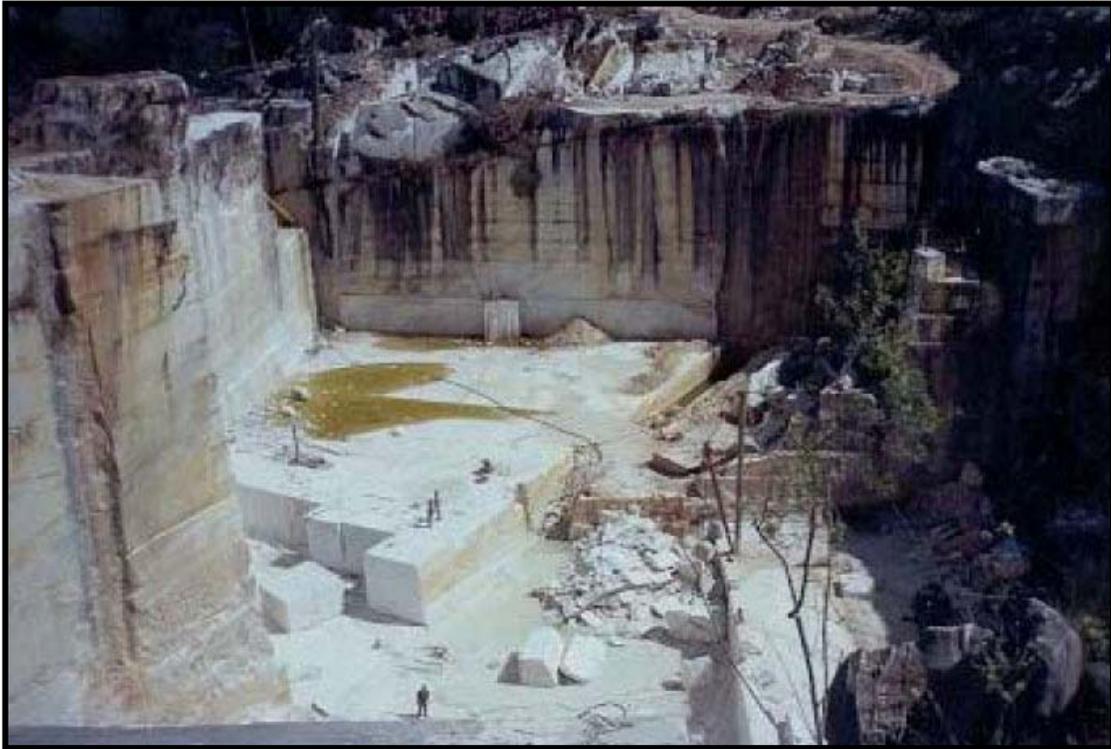


Figura 04 – Lavra em poço (Cachoeiro do Itapemirim - ES).

Lavra Subterrânea

A existência de uma grande quantidade de estéril sobre o material rochoso explotável faz com que os custos e o impacto ambiental sejam fatores negativos na abertura de lavra a céu aberto. Assim uma pedreira subterrânea poderá diminuir substancialmente os fatores negativos. A exploração ocorre no interior do maciço rochoso, através da abertura de salões sustentados por pilares deixados nos locais onde o material rochoso é de baixa qualidade. A figura 05 mostra um salão no método de lavra subterrânea, onde se pode ver o emprego do fio diamantado no corte do quartzito Azul Imperial no município de Oliveira dos Brejinhos no Estado da Bahia.

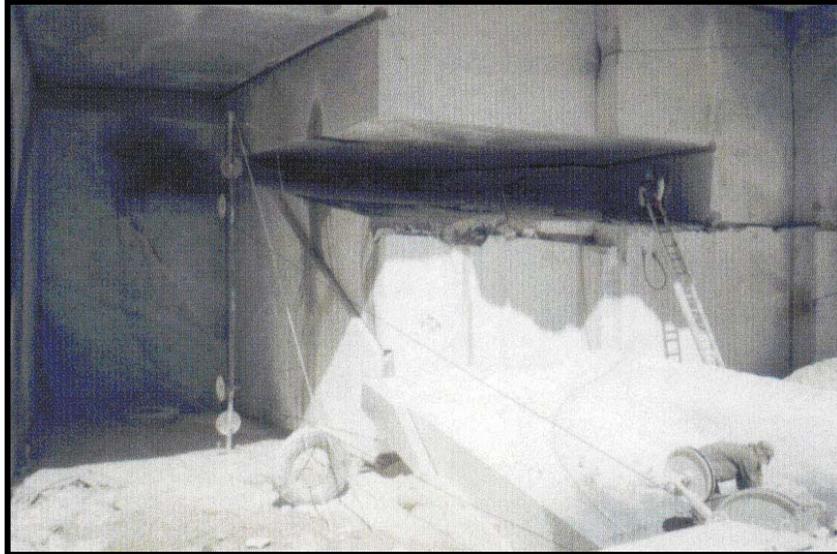


Figura 05 – Lavra subterrânea de quartzito Azul Imperial, no município de Oliveira dos Brejinhos – BA.

Para MATTA (2003), esse tipo de lavra é a evolução das lavras em poço e fossa. Esse método de exploração também é bastante utilizado em locais de encostas, onde existe uma grande quantidade de estéril. A figura 06 mostra a entrada de uma lavra subterrânea e a quantidade de estéril existente, motivo pelo qual se optou por esse método.



Figura 06 – Entrada da lavra subterrânea de quartzito Azul Imperial, no município de Oliveira dos Brejinhos BA.

1.1.3. Metodologias de Lavra de Rochas Ornamentais

Vários fatores são fundamentais para a escolha do método de lavra, dentre os quais pode-se destacar como mais significantes a morfologia do afloramento, as características estruturais e fraturamento da reserva mineral, geografia da área e principalmente os aspectos econômicos relacionados à lavra da pedreira.

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

Analisando os fatores fundamentais para escolha do método de lavra discutidos por ALENCAR *et al.* (1996) podemos afirmar que: a divisão em etapas de trabalho numa visão espacial e temporal, leva a operacionalizar o seqüenciamento das etapas em ordem crescente do método a se trabalhar.

A topografia da área, a morfologia do afloramento e as características das estruturas geológicas nos dão a visão de como dividir as etapas para início da frente de lavra. Cada etapa por sua vez é subdividida em ciclos de trabalhos para maximizar a recuperação da jazida mineral.

Segundo SOUZA (2005) os métodos de lavra de uma pedreira de rocha ornamental podem ser classificados como lavra à céu aberto e lavra subterrânea. Os métodos de lavra a céu aberto correspondem às metodologias de lavra de matacões, lavra por bancadas e lavra por desabamento. Já os métodos de lavra subterrânea são variações de método por câmaras e pilares.

1.1.4. Lavra de Matações

Um grande volume de rocha, quando se destaca do corpo principal e geralmente se encontra na superfície é chamado de matacão. O método de lavra é caracterizado pela simplicidade operacional, pequeno investimento com equipamentos e mão-de-obra e baixo custo operacional.

CICCU & VIDAL (1998), afirmam que a lavra de matações pode ter menor custo de produção em relação à lavra de maciço rochoso, principalmente em pedreiras com pequena escala de produção, tendo, porém, fortes restrições quando à quantidade, qualidade e uniformidade do material extraído.

A frente de lavra inicia-se dividindo o corpo em fatias regulares, empregando-se preferencialmente explosivos lentos como a pólvora negra, através de um furo central raiado no plano preferencial de separação da rocha. Após a separação do matacão as fatias são esquadrejadas em blocos com dimensões comerciais. As figuras 07 e 08 mostram a presença de matações em situações diferenciadas, na figura 07 o matacão do granito tipo Azul Bahia aflorou na encosta, na figura 08 um matacão de superfície.

O método de lavra de matações é ainda largamente utilizado nos países em desenvolvimento, principalmente na faixa tropical, onde existem matações de grandes dimensões, ALENCAR et al. (1996).

Do ponto de vista paisagístico a destruição de um matacão agride consideravelmente ao meio ambiente. Geralmente parte do matacão fica enterrado forçando a escavar o solo ao seu redor. Durante a lavra os matações são destruídos deixando graves danos ao meio ambiente, caso não estejam previstas medidas técnicas de recuperação ambiental da área de lavra.

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



Figura 07 – Foto de mega matacão do granito Azul Bahia exposto na encosta do morro.



Figura 08 – Matacão de rocha granítica exposta na superfície do terreno – Ribeira (SP.)

1.1.5. Lavra por Painéis Verticais

A frente de lavra por painéis verticais inicia-se na divisão dos volumes primários do maciço em painéis, onde a espessura corresponde a uma das dimensões do bloco comercial. A cota vertical é determinada de acordo com o afloramento na superfície topográfica, variando conforme o perfil do afloramento (figura 09).

Para ALENCAR *et al.* (1996), 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 condicionamentos particulares da jazida.

Já CICCU & VIDAL (1998) afirmam que, como a extensão da área dos painéis é relativamente grande, isso permite uma boa seletividade, descartando-se as partes da rocha com qualidade inferior. Obtém-se, face a isso, uma qualidade superior de blocos comerciais extraídos.



Figura 09 – Frente de lavra por painéis verticais.

1.1.6. Lavra Seletiva

Para ALENCAR *et al.*, (1996), 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 ortogonal. 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 esquadrejamento (figura 10).



Figura 10 – Fraturas naturais no maciço rochoso, adequadas para o uso de lavra seletiva.

1.1.7. Lavra por Desmoronamento

Quando o maciço apresenta planos de fraturas verticais ou planos inclinados em uma superfície de forte active, o método por desmoronamento é o mais indicado. Em zonas onde são encontradas fraturas verticais se faz furos de levante na base da bancada e com o uso de explosivo se faz o descolamento do volume primário do maciço que, em função da inclinação o corpo, tomba naturalmente. Já em planos inclinados os furos são feitos nas direções verticais e após a detonação o bloco

primário desliza ao longo da encosta por gravidade para ser esquadrejado na base da pedreira. A figura 11 mostra um trecho de pedreira explotado através do método de desmoronamento.

Para CICCUCI & 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 sub-verticais, conjugados esses a uma topografia de forte aclive. Neste caso, o desmonte é realizado através de explosivos, com perfuração em forma de leque na base da bancada.

Para CHIODI FILHO (1998), o desmoronamento pode ser feito por painéis horizontais ou verticais, em função das alturas e inclinações do maciço rochoso. Quanto mais baixo e menos íngreme for o maciço rochoso então os painéis são horizontais. Caso contrário os painéis são verticais.

É um método que exige pouco conhecimento técnico e apresenta baixo custo de operação e de investimento.



Figura 11 – Lavra por desmoronamento do granito Juparaná Bahia no município de Macarani – BA.

1.1.8. Lavra por Bancadas

A formação de planos paralelos horizontais com distâncias que variam entre 2 m até mais de 8 m, com vias de acesso aos níveis de exploração caracteriza o método de extração denominado lavra por bancadas, que podem ser baixas ou altas.

1.1.1.8.1 *Lavra por Bancadas Baixas*

A lavra por bancadas baixas é um método caracterizado por utilizar bancadas horizontais baixas, com alturas associadas a uma das dimensões do bloco final, não devendo ultrapassar 3,0 m. Nesse método o maciço não precisa ser sub dividido para atingir as dimensões adequadas ao uso dos teares, sendo o bloco comercial obtido diretamente na bancada. É um método recomendado para materiais homogêneos onde é fácil identificar as partes sãs que serão utilizadas na forma de blocos.

As grandes áreas formadas pelas bancadas horizontais facilitam a movimentação dos equipamentos tais como: perfuratrizes, carregadeiras e outros. Nesse método o acidente de trabalho é bastante reduzido devido à flexibilidade de locomoção. A figura 12 mostra um “lay-out” típico de pedreiras que operam com bancadas baixas.



Figura 12 – Lavra por bancadas baixas.

1.1.8.2 *Lavra por Bancadas Altas*

É operacionalizada através do desdobramento de blocos primários, secundários e terciários (finais), através de diferentes técnicas de corte de rochas. O bloco primário tem altura entre 4 e 16 m, ou mais comumente de 6 a 8 m.

Sua espessura varia de 3 a 6 m e a largura de 15 a 40 m, atingindo assim um volume de 1.000 à 2.000 m³. A incidência de perfuração é elevada situando-se entre 20 a 30 m/m³. O desacoplamento das faces traseira e basal dos blocos primários é efetuado por explosivos, enquanto que o das faces laterais, por fio diamantado, jato d'água ou chama térmica. A eventual quebra do bloco secundário (pastilha), pelo impacto no tombamento indica a existência de defeitos, permitindo assim a eliminação seletiva de materiais não desejados.

Nesse método a tecnologia de corte é diversificada, entretanto o fio diamantado é o mais indicado. Outro fator característico é o número grande de perfuração no esquadrejamento do bloco de partição para subdividir em blocos menores com dimensões adequadas para o desdobramento em teares. Em relação ao método de bancadas baixas, o método de bancadas altas é mais trabalhoso e requer um número maior de equipamentos e mão-de-obra.

Para CICCUCO & VIDAL (1998), este método de lavra permite adotar módulos organizativos e eficientes. Além disso, o método possibilita operar com praças articuladas sobre diversas frentes de avanço, de modo a compensar eventuais deficiências qualitativas das rochas ou ainda para adaptação de maneira rápida aos níveis de produção desejados. As figuras 13 e 14 apresentam exemplos de aplicação do método de lavra por bancadas altas em pedreiras no Brasil.



Figura 13 – Lavra por bancadas altas (granito Golden Moon).



Figura 14 – Lavra por bancadas altas (granito Blue Pegaso).

1.1.9. Lavra Subterrânea

Quando se criam salões em sub-superfície sustentados por pilares, o método passa ser chamado de lavra subterrânea.

A lavra subterrânea tem um custo muito alto e por isso é apenas aplicável para materiais de alto valor comercial. Na região de Carrara, Itália, as jazidas de mármore são amplamente lavradas por métodos subterrâneos em função da infra-estrutura, domínio da tecnologia de exploração e altos valores comerciais do material explotado.

O desenvolvimento de um projeto de extração de rocha ornamental em subsolo pode ser resultado de uma das seguintes situações: reativação de uma antiga pedreira subterrânea, abertura de uma nova frente de lavra, prosseguimento em subsolo a partir de uma pedreira existente a céu aberto, restrições ambientais.

Neste último caso a justificativa pode ser técnica, pela dificuldade de rebaixar a plataforma de operação ou recuar as frentes de trabalho, de segurança, pela

instabilidade das paredes verticais, ou para contornar problemas legais, devido a posturas municipais ou autorizações necessárias de pedreiras adjacentes.

A figura 15 apresenta um grande salão onde foram obtidos blocos de mármore na região de Carrara, Itália. É possível ver uma escavadeira hidráulica utilizada para a remoção e transporte dos blocos, bem como os pilares de sustentação da abertura subterrânea.

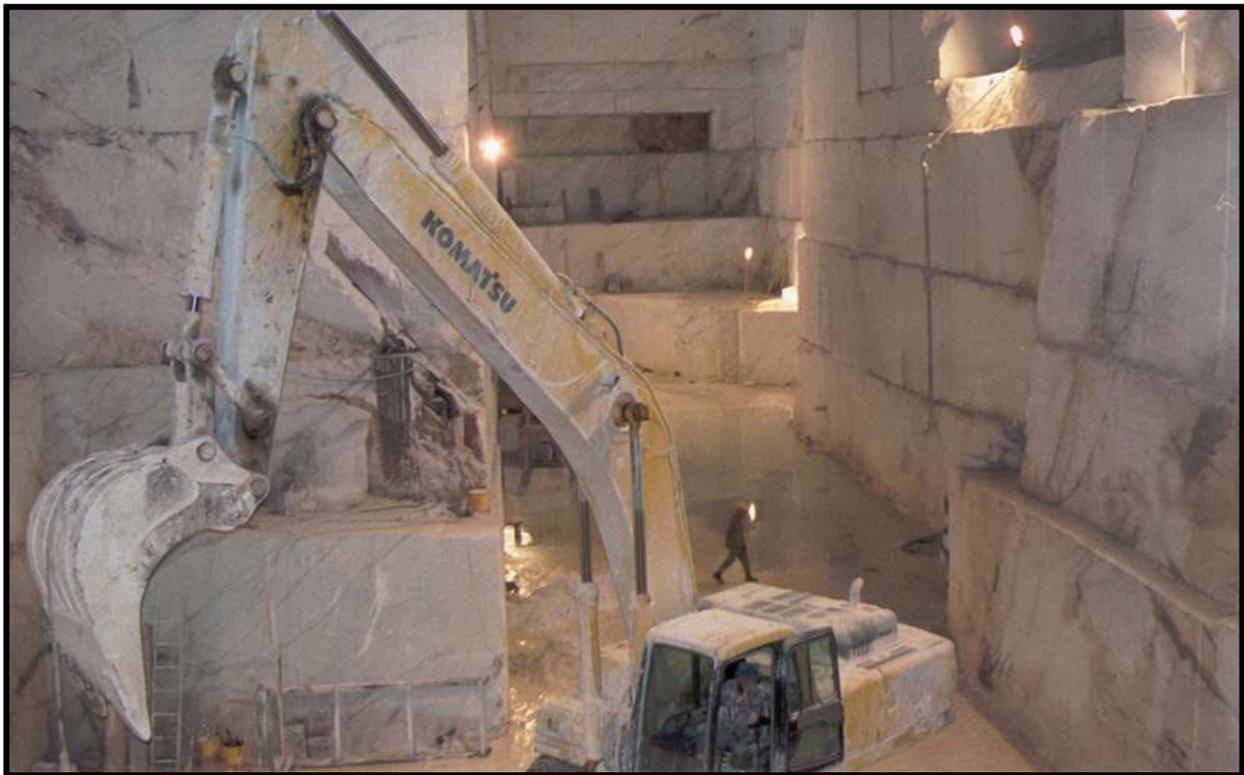


Figura 15 – Lavra subterrânea – região de Carrara, Itália.

1.2 Tecnologias de Corte

Retirar blocos de partição e esquadrear o maciço rochoso requer o conhecimento das técnicas de corte e quando usar uma técnica ou outra. Neste ítem são apresentadas as principais tecnologias de cortes existentes atualmente no mercado e suas características técnicas e econômicas.

Segundo SOUZA (2006), existem dois grandes grupos de tecnologias de cortes: as cíclicas e as contínuas. As tecnologias de corte cíclicas partem do princípio dos ciclos de produção, usando a perfuração da rocha e separação do maciço através de agentes expansivos, cunhas e explosivos. Já nas tecnologias de cortes contínuas não existem ciclos de produção. Ao iniciar o processo de corte o mesmo se desenvolve até ser finalizado no mesmo ciclo. Para tanto são utilizadas diversas tecnologias que envolvem o emprego de fios diamantados, cortadeiras de braços com correntes ou cinta diamantada, jato d'água e "jet flame" (maçarico), este último em desuso por razões econômicas e ambientais. Podemos usar os dois grupos de tecnologias de corte numa mesma pedreira, de acordo com as características locais da jazida. As fotos a seguir (figuras 16 e 17) mostram na pedreira em estudo (Sítio Jaú) os locais onde foram empregadas tecnologias de cortes distintas (cíclicas e contínuas).



Figura 16 – Corte com perfuração e utilização de argamassa expansiva, Sítio Jaú, Sertânia – PE.

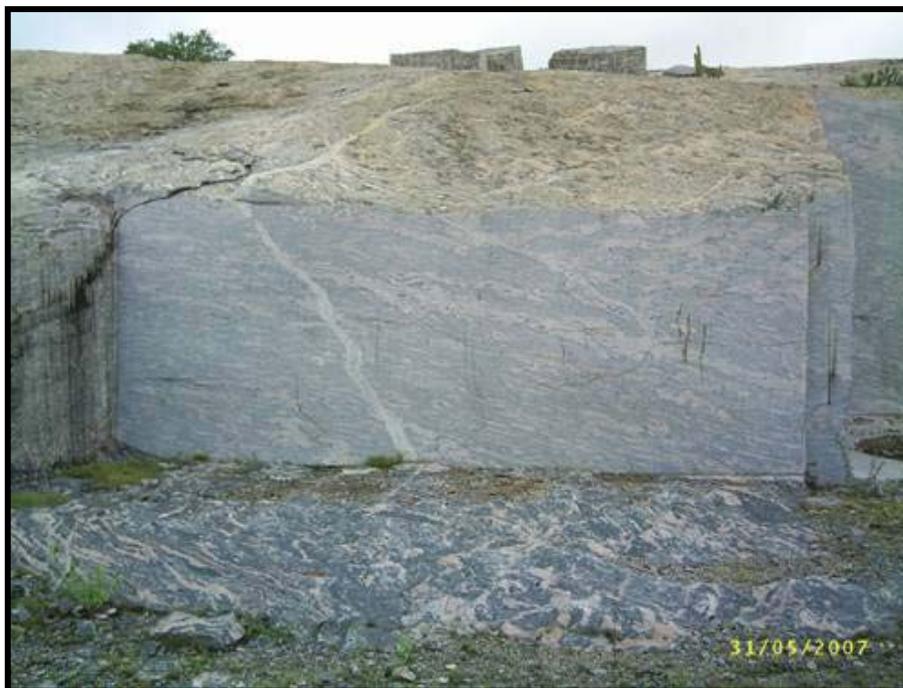


Figura 17 – Corte com fio diamantado, Sítio Jaú, Sertânia – PE.

1.2.1 Corte com Perfuração e Explosivos

Esta técnica de corte é bastante comum nas pedreiras de baixa e média produção devido ao custo de execução. Com o uso de uma perfuratriz, um plano de corte é definido por furos próximos entre si com profundidades correspondentes a altura das bancadas. Nesta tecnologia os furos são carregados por explosivos, agentes expansivos ou são utilizadas cunhas mecânicas para a separação.

A pólvora negra é o explosivo mais utilizado atualmente na divisão de matacões. Os explosivos nitro-aromáticos (peteca e cordel detonante) são utilizados no corte primário do bloco de partição do maciço. Já a argamassa expansiva e a cunha têm suas utilizações na subdivisão do bloco de partição.

Para DUARTE (1998), a definição de dois planos perpendiculares, um vertical e o outro horizontal ou dois planos verticais, onde existem faces livres, torna o desmonte com detonação controlada e simultânea uma técnica bastante eficiente.

A figura 18 mostra uma perfuratriz montada em coluna de perfuração semi-automática na operação de furação em plano horizontal de levante.



Figura 18 – Perfuração coplanar horizontal.

A figura 19 mostra uma perfuratriz montada em coluna de perfuração semi-automática sobre trilhos na operação de furação em plano vertical.



Figura 19 – Perfuração coplanar vertical.

1.2.2 Perfuração Contínua

É uma técnica que se baseia fundamentalmente na perfuração da rocha e não prevê o uso de explosivos. Atualmente apresenta alto nível de eficiência. A técnica se constitui na execução de furos justapostos, de modo a criar um plano de ruptura contínuo. Um fator negativo a essa técnica é o paralelismo dos furos, isso impõe limites evidentes ao comprimento do corte no sentido da furação.

Para SOUZA (2003), a técnica utiliza equipamento sofisticado e específico para corte, normalmente em granito, denominado “slot drill”. Baseia-se na perfuração tipo roto-percussiva de uma linha de furos contíguos. Apresenta bons níveis de eficiência na abertura de canais. É pouco utilizada no Brasil em função do custo alto.

A figura 20 mostra um detalhe da frente de lavra do granito Marrom Guaíba, localizada em Cachoeira do Sul – RS onde encontramos a tecnologia de perfuração contínua na execução dos cortes verticais.



Figura 20 – Detalhe da frente de lavra na pedreira de granito Marrom Guaíba, Cachoeira do Sul - RS.

1.2.3

Divisão Através de Agentes Expansivos

A argamassa expansiva é um agente demolidor não explosivo formado por uma pasta cremosa obtida na combinação de pó e água, onde a cal virgem é o componente de maior percentual. O pó em contato com a água desencadeia uma reação de hidratação aumentando o volume da pasta. Este aumento no volume em ambiente fechado gera tensões que podem chegar a 78 MPa (VILLASCHI FILHO & SABADINI, 2000).

A argamassa é preparada de acordo com as especificações do fabricante, em geral na proporção de 30 partes de água por 70 partes do pó. A homogeneização do composto deverá produzir uma pasta cremosa e sem grumos, de fácil aplicação nos furos.

Com o uso do marteleto são feitos furos ao longo do plano de corte com diâmetros que variam de 25 a 40 milímetros com espaçamento de 5 vezes o diâmetro do furo e com comprimento correspondente a altura ou largura da bancada.

Essa pasta cremosa é depositada nos furos e o corte se processa lentamente, geralmente entre 8 a 24 horas, período da evolução dos esforços (aumento de volume), variando de acordo com a temperatura ambiente.

Segundo VILLASCHI FILHO e SABADINI (2000) os custos operacionais para aplicação industrial em pedreiras de rochas ornamentais com o uso da argamassa expansiva são de aproximadamente US\$ 16,00/m².

A figura 21 mostra a aplicação em laboratório da argamassa expansiva no corte de um bloquete de rocha ornamental. O resultado do corte executado pela argamassa pode ser visto na figura 22 (fonte: VILLASCHI FILHO e SABADINI, 2000).

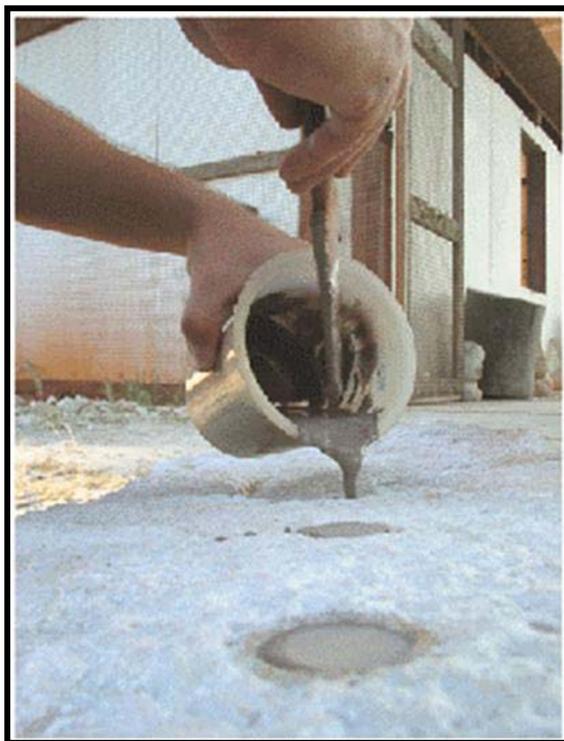


Figura 21 – Aplicação da pasta cremosa nos furos (Fonte: Villaschi & Sabadini, 2000).

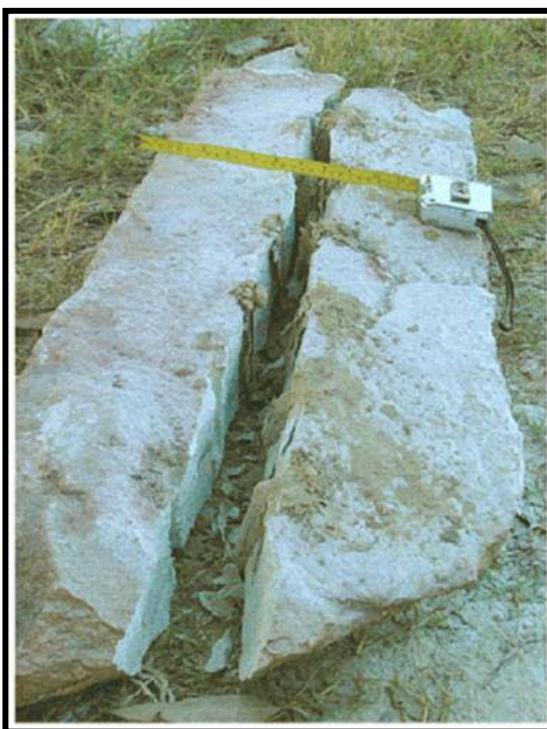


Figura 22 – Corte com o uso da argamassa expansiva (Fonte: Villaschi & Sabadini, 2000).

1.2.4 Divisão Mecânica Através de Cunhas

Essa técnica é bastante usada na subdivisão dos blocos de rochas em planos pré-estabelecidos (esquadrejamento) e aplicada mais freqüentemente na fase final da obtenção dos blocos comerciais. O corte é feito por processo manual ou mecânico, que consiste na perfuração de vários furos de mesmo diâmetro e eqüidistantes ao longo do plano de corte. As cunhas são colocadas em furos alternados e sob a força de batidas do malho ou marreta são forçadas para dentro do furo, também em batidas alternadas (processo manual). No processo mecânico utilizam-se garras com acionamento hidráulico colocadas nos furos. A figura 23 mostra um operário executando o processo manual de tensionamento das cunhas.

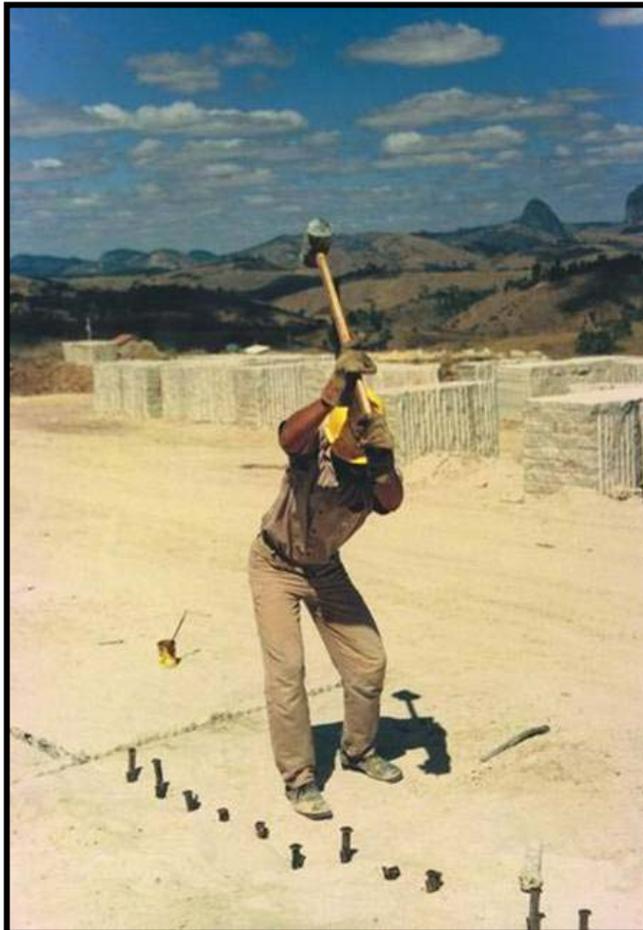


Figura 23 – Processo manual de esquadrejamento de blocos com o uso de cunhas.

1.2.5 Fio Helicoidal

A tecnologia de corte com o uso do fio helicoidal é considerada hoje obsoleta, entretanto existem ainda pedreiras em países em desenvolvimento, com dificuldade de capital e condições de absorver técnicas de cortes modernas, onde ainda hoje se encontra o emprego do fio helicoidal.

O fio helicoidal é uma cordoalha de aço com dupla hélice por onde são levados areias e/ou outros agentes abrasivos granulados. No movimento do fio são transportados agentes abrasivos cortantes como pequenas esferas de ferro e água. Essa mistura em contato com o material retirado da rocha forma uma lama. A água também tem outra função importante no processo do corte, diminuir a temperatura provocada pelo atrito das esferas com a rocha, evitando assim a fadiga e a conseqüente ruptura do fio helicoidal.



Figura 24 – Emprego do fio helicoidal, Ceará – CE.

1.2.6 Fio Diamantado

O emprego do fio diamantado aumentou a produção dos granitos e principalmente dos mármore em substituição à tecnologia de corte anterior: o fio helicoidal. Essa nova tecnologia apresenta uma maior produtividade, a mão-de-obra operacional é menor e o tempo de instalação do equipamento é inferior. Outros fatores importantes no uso do fio diamantado são os custos de operação, produtividade e a qualidade da superfície cortada pelo fio.

O fio diamantado é constituído por um cabo de aço ao longo do qual são colocadas pérolas diamantadas separadas por molas metálicas, por material plástico ou borracha em função das características das rochas. A pérola é um cilindro de metal duro à base de tungstênio com vários cristais de diamante industrial (figura 25 a).

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 um avanço progressivo, em substituição à tecnologia dominante no passado recente, o uso do fio helicoidal.



(a)

(b)

Figura 25 – Fio diamantado: detalhe das pérolas e da máquina motriz.

1.2.7 Cortador de Braço com Corrente Dentada

A técnica de corte usando o cortador de braço com corrente consiste na execução de uma sucessão de cortes em planos paralelos que podem ser verticais e horizontais.

Existem dois tipos de máquinas: a que corre sobre trilhos ou esteiras, para pedreiras a céu aberto e a que se desloca sobre colunas verticais, bastante utilizada em lavra subterrânea. O cortador possui um braço que pode atingir 4 metros de comprimento e esse tipo de máquina pode ser empregada tanto para granito como para mármore.

A corrente é confeccionada com dentes usando um metal bastante duro. Para o granito são usadas plaquetas de diamante nos dentes e para o mármore é usado principalmente o carbureto de tungstênio, em função do custo ser menor.

Para ALENCAR et al (1996) a tecnologia de corte com o emprego do cortador de braço com corrente dentada apresenta algumas limitações como a altura ou profundidade do corte devido ao comprimento do braço.

A figura 26 mostra um cortador de braço com corrente executando o corte vertical em uma pedreira de mármore na Itália.

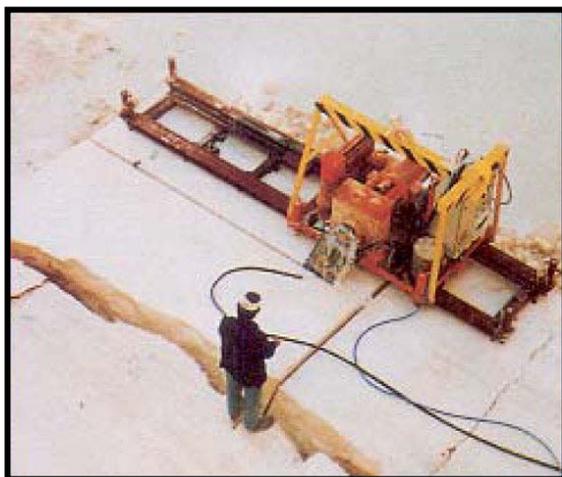


Figura 26 – Cortador a corrente sobre trilhos executando corte vertical.

1.2.8 Cortador de Braço com Cinta Diamantada

Esta tecnologia é bastante parecida com a cortadeira de braço com corrente dentada, a diferença está nos dentes que são substituídos por cintas diamantadas.

DUARTE (1996), afirma que no Brasil esse sistema não é utilizado, no entanto é largamente adotado na Itália, em jazidas de mármore.

O princípio de funcionamento segue essencialmente os mesmos parâmetros do cortador de braço com corrente dentada. A figura 27 mostra uma cortadeira de cinta diamantada utilizada na lavra de ardósia em Valongo, Portugal (REGADAS, 2006).



Figura 27 – Cortadeira de braço com cinta diamantada.

1.2.9 Jet Flame

O uso do fogo no corte de rochas ornamentais (figura 28) consiste na desagregação provocada pela dilatação diferencial dos minerais em função da elevada temperatura obtida na chama. A tecnologia de corte com “jet flame” parte do princípio da formação de um jato térmico em uma câmara de combustão, na qual são inseridos simultaneamente o combustível (querosene ou óleo diesel) e o comburente (ar ou oxigênio). O processo é bastante parecido com o utilizado pelo maçarico oxacetilênico.

A chama produzida pela combinação do combustível e do comburente varia de 1200° C a 1300°C, ou mais se o comburente for oxigênio.

Essa tecnologia traz algumas desvantagens: limitações em função da extensão do maçarico, excesso de ruído, risco de acidentes com o fogo, geração de gases tóxicos, alteração mineralógica da rocha nas proximidades do fogo e o alto custo operacional.

Para DUARTE (1996), a técnica tem mais sucesso em rochas com alto teor de sílica e pouco sucesso nos materiais com grande incidência de biotita.

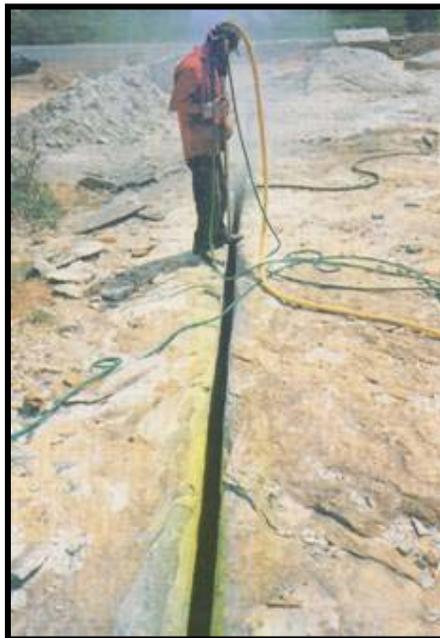


Figura 28 – Uso do jato térmico no corte da rocha.

1.2.10 Jato D'água sob Pressão

Assim como o fogo, cuja função é desagregar as partículas através da temperatura, a água também tem a função de desagregar as partículas mecanicamente através de um jato d'água de alta pressão. Nessa tecnologia é utilizada uma bomba de alta pressão acoplada a uma haste com um bico por onde sai um jato d'água com pressão entre 150 Mpa a 300 Mpa. A velocidade do jato d'água pode atingir entre 300 m/s a 500 m/s.

Segundo MAGNO DA MATTA (2003), essa técnica permite extrair blocos regulares com mais qualidade, aumentando bastante a recuperação ao contrário do que acontece com a maioria das explorações com uso de explosivos.



Figura 29 – Máquina de “water jet” em operação, Sardenha – Itália.

1.3 Técnicas e softwares de modelamento digital

Em um laboratório de informática podemos simular em escala virtual o que poderá acontecer no futuro, tais como: separar o material rochoso de menor valor comercial, projetar uma configuração de frentes de lavra que melhor recuperem a jazida e ainda com o uso do software 3D STUDIO MAX podemos apresentar a simulação por duas vertentes: uma na forma de um filme em qualquer saída de áudio e vídeo existente no mercado e outra na forma VRML (“Virtual Reality Modeling Language”), um ambiente de simulação onde o usuário pode interagir com o ambiente virtual.

1.3.1 Aplicativo para interpolação de dados espaciais SURFER

O software SURFER é um aplicativo voltado para a geração de plantas topográficas, cujo arquivo de entrada é uma planilha de coordenadas, que podem ser coordenadas polares ou cartesianas. O programa gera vários arquivos de saída inclusive o modelo tridimensional.

A figura 30 mostra a saída de produtos: no modelo bidimensional e no modelo tridimensional gerado no aplicativo SURFER.

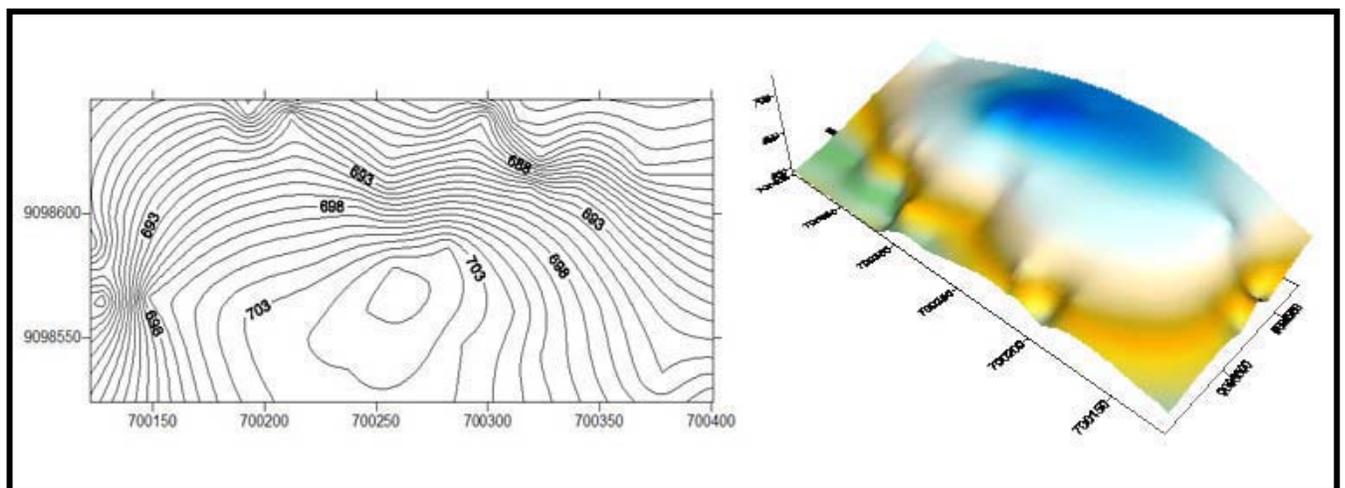


Figura 30 – Planta topográfica arquivo bidimensional e o modelo tridimensional.

1.3.2 Aplicativo de projetos bi e tridimensional AUTOCAD

O software AUTOCAD é um aplicativo para projetos nas áreas de arquitetura e engenharias, onde se trabalha desenhos auxiliados por computador (CAD, “computer-aided design/drafting”).

Os dados de entrada podem ser desenhados na própria área de trabalho do programa, importando arquivos de outros programas ou imagens como gravuras, fotos, etc. A saída pode ser um projeto em duas dimensões ou um projeto em três dimensões.

A figura 31 mostra a interface do aplicativo AUTOCAD versão 2007, onde foram desenvolvidos os mapas topográfico, geológico e estrutural.

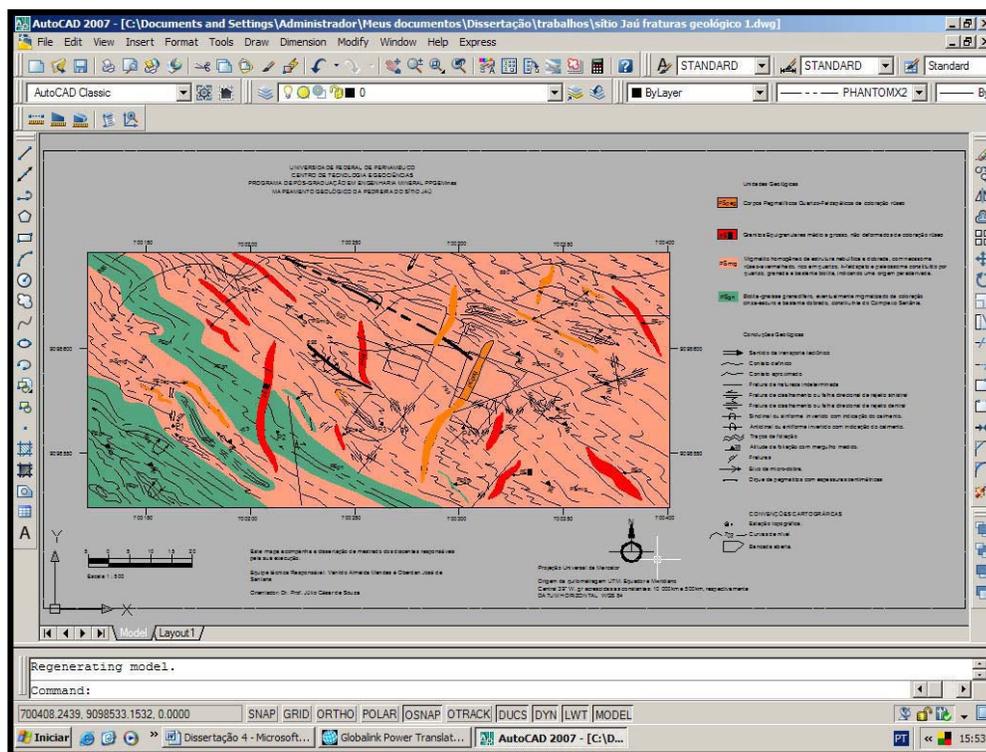


Figura 31 – Interface do software AUTOCAD mostrando em detalhe o mapa geológico do Sítio Jaú, Sertânia – PE.

1.3.3 Aplicativo para projeto tridimensional e animação virtual 3D STUDIO

O software 3D STUDIO MAX é um aplicativo bastante utilizado em filmes e comerciais de televisão e cinema. Esse programa desenvolve projetos na sua própria interface ou importa esses de outros programas como o AUTOCAD, por exemplo.

Todo aplicativo tem uma forma melhor de desenvolver certos projetos, o 3D STUDIO MAX desenvolve melhor arquivos em três dimensões. A precisão do 3D STUDIO MAX é comparada com a precisão obtida ao aplicativo AUTOCAD. A figura 32 mostra a interface do 3D STUDIO MAX, versão R3.

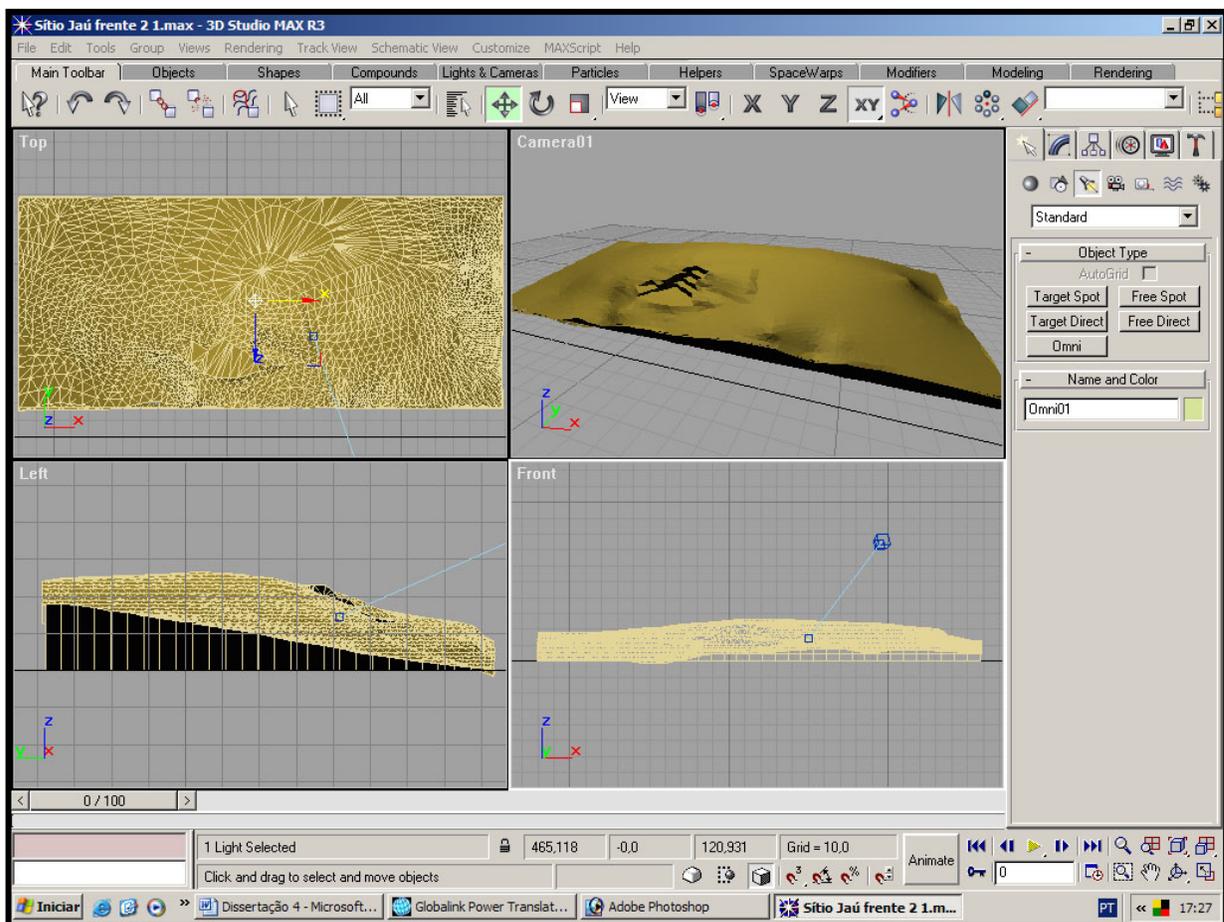


Figura 32 – Interface do software 3D STUDIO MAX mostrando em detalhe a criação do volume da pedra do Sítio Jaú.

1.4 Características Geográficas e Geológicas do Sítio Jaú, Sertânia - PE

Para MENDES (2007), o conhecimento geológico detalhado do jazimento permite estabelecer as características físico-mecânicas das rochas, inferir a dimensão dos blocos lavráveis, determinar os melhores locais para a implantação das possíveis frentes de exploração e a sistemática de lavra a ser adotada.

Os condicionantes observados para definir a qualidade da rocha são: a cor e tonalidade, textura e estrutura da rocha, deformação da estrutura, presença de xenólitos e enclaves, existências de pontos de oxidação e minerais deletérios, densidade da presença de veios e massas pegmatóides, forma de ocorrência (matação ou maciço) e continuidade litológica do afloramento (homogeneidade do corpo).

Para MOURA (2004), a exploração do granito e mármore mais comuns exige condições topográficas, geológico-estruturais e de reservas particularmente favoráveis, a fim de se maximizar o rendimento das pedreiras e torná-las viáveis economicamente.

Esses condicionantes são capitulados em um mapa chamado de Mapa Geológico de Detalhe, cujos objetivos são definir o local mais adequado para uma frente de lavra e escolher o método de lavra que melhor se adapte ao material a ser explorado.

1.4.1 Localização e Vias de Acesso

A área selecionada para a aplicação da metodologia de otimização de lavra com recursos da simulação virtual está localizada no Sítio Jaú, zona rural do Município de Sertânia – PE.

O acesso à área é realizado, a partir do município de Sertânia, através de um percurso de cerca de 15 km, em direção sudeste, em estrada vicinal carroçável, até se chegar próximo a localidade de Pinto Ribeiro, conforme pode-se verificar na figura 33.

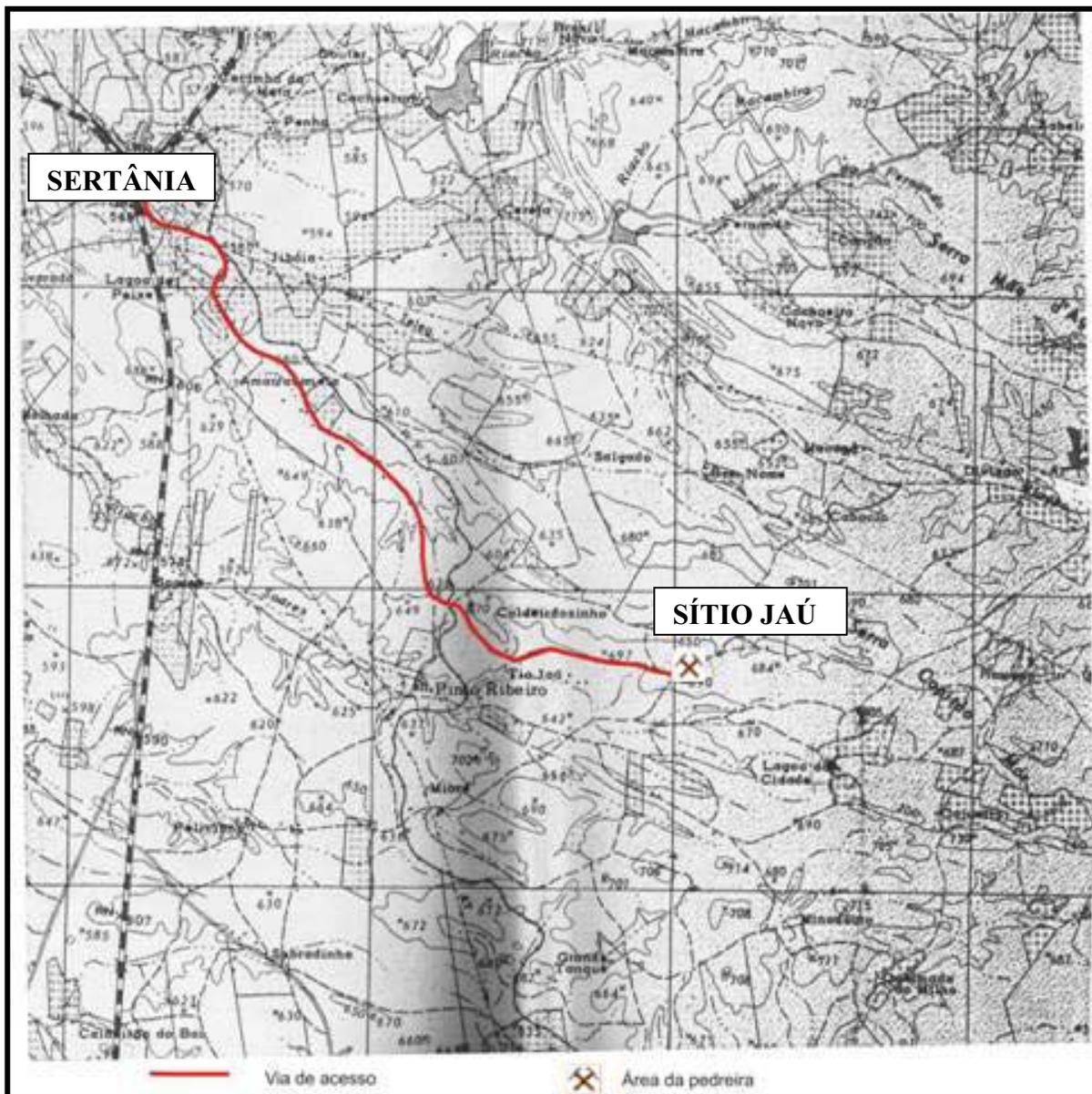


Figura 33 – Mapa de acesso à área da pedra do granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE.

1.4.2 Geologia

O levantamento geológico é uma etapa crucial no processo de avaliação de uma jazida de rocha ornamental e visa determinar as variedades litológicas aflorantes do corpo granítico através da consulta bibliográfica em mapas e através do levantamento geológico e plani-altimétrico no local do jazimento. A partir desses levantamentos “in situ” foi elaborado um mapa detalhado da área da pedreira atual do granito Vermelho Frevo em Sertânia - PE e também do maciço remanescente para lavra.

1.4.2.1 *Geologia Regional*

A finalidade da geologia regional é conhecer a distribuição dos tipos litológicos na região, visando caracterizar as principais rochas, estruturas e ambiente geológico, em escala regional. O mapa geológico regional permite verificar a existência de rochas que tenham alto potencial de serem utilizadas como material ornamental.

A região onde se encontra o Complexo Sertânia segundo SCHOBENHAUS et al. (1984) é formada pelos Sistemas e Faixas de Dobramentos do Ciclo Brasileiro associado à Orogênese Brasileira. A figura 34 esboça a divisão do território brasileiro em faixas de geologia regional.

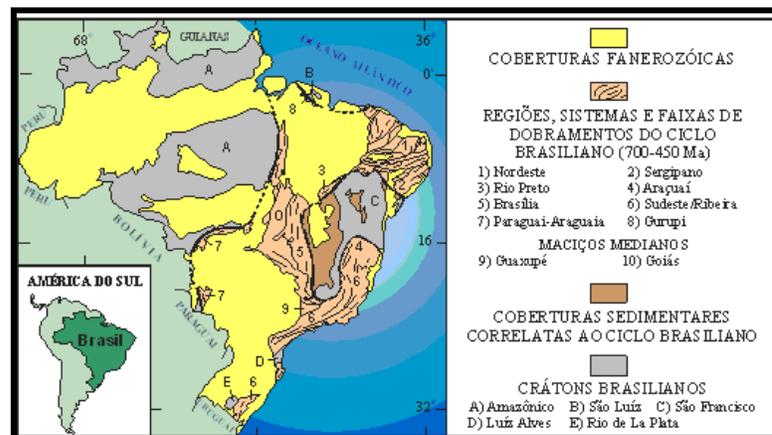


Figura 34 – Divisão do território brasileiro em faixas da geologia regional, segundo Schobbenhaus et al. (1984).

Entretanto o primeiro modelo proposto para essa região foi elaborado por BRITO NEVES (1975), com base na clássica teoria geosinclinal. Esse modelo foi

aperfeiçoado posteriormente em 1983 pelo mesmo autor. O novo modelo pode ser visto na figura 35.

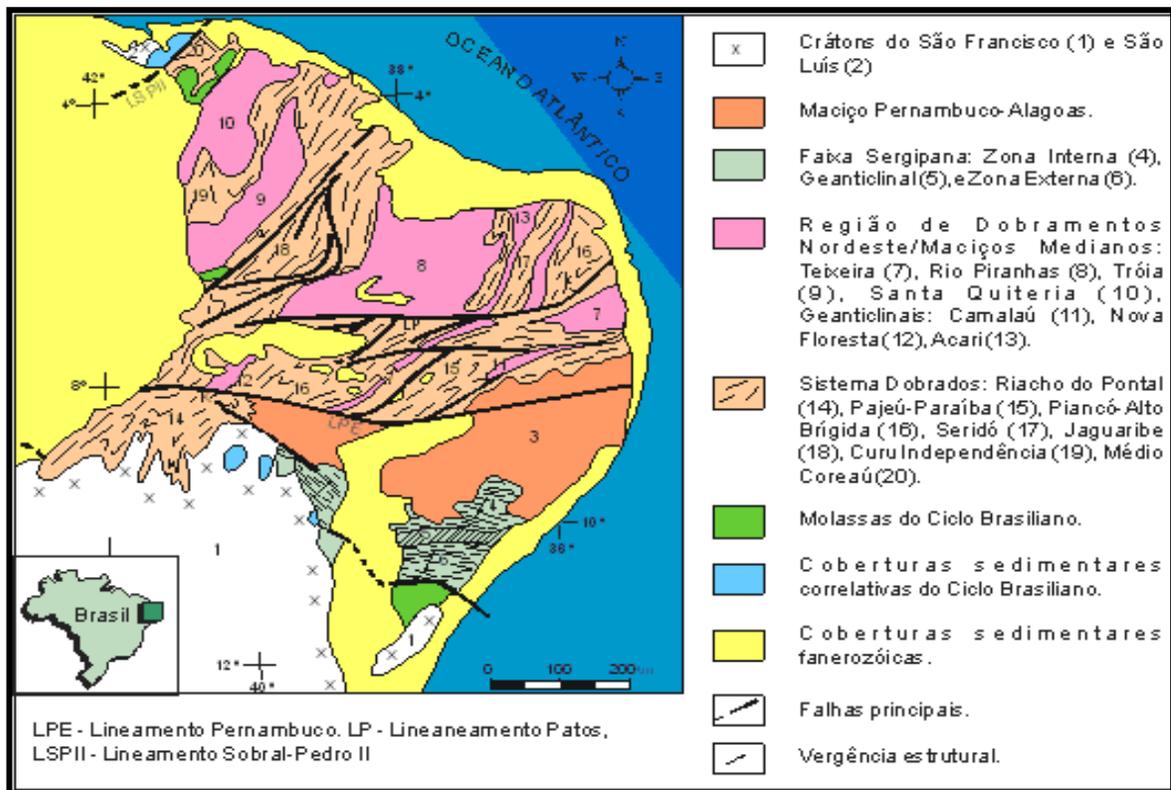


Figura 35 – Modelo da geologia regional onde está localizado o complexo Sertânia.

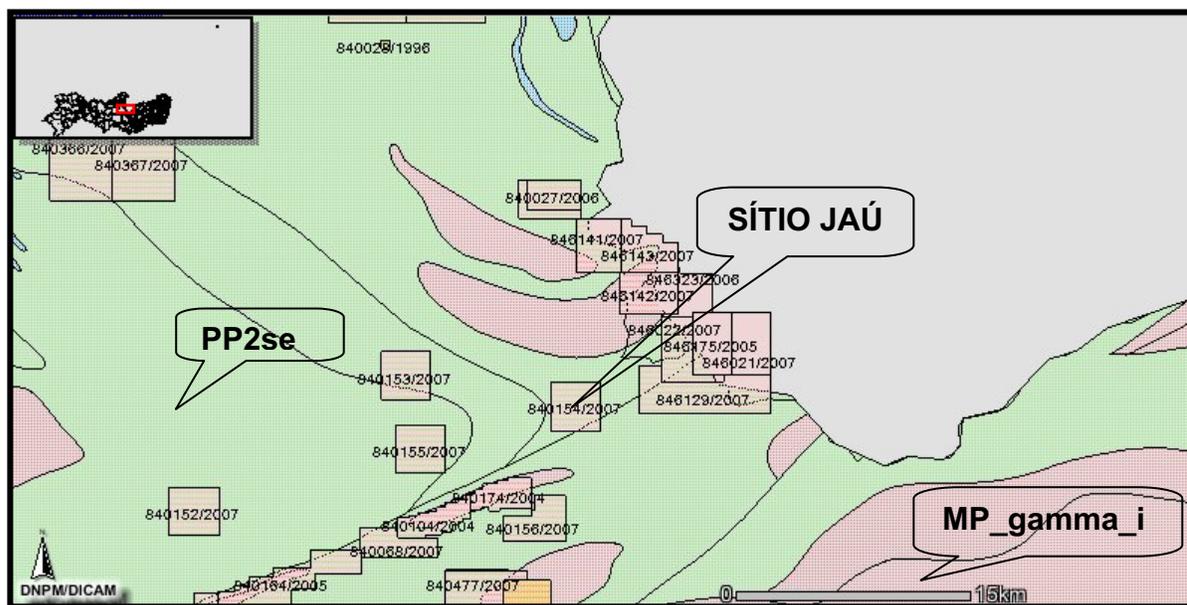
Fonte: SCHOBENHAUS

Segundo MENDES (2008), em termos tectônicos a área em foco insere-se na denominada Zona Transversal da Província Borborema, englobando porções dos Terrenos Rio Capibaribe (TRC), Alto Moxotó (TAM) e Pernambuco-Alagoas (TPA). Constitui um arcabouço tectônico-estrutural polideformado, sujeito às várias fases de deformação, metamorfismo regional e plutonismo granítico associado.

1.4.2.2 Geologia Local

A geologia local é de grande relevância para a identificação em escala micrométrica dos principais tipos litológicos aflorantes na área da pedreira do Sítio Jaú.

Em escala macrométrica na região do complexo Sertânia a geologia local é representada segundo a fonte SIGMINE, DNPM/DICAM (2008), predominantemente pelos seguintes litotipos: (1) PP2se – Complexo Sertânia: Paragnaisses, paramigmatitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos, mármores dolomíticos e calcíticos, metavulcânicas. Paleoproterozóico Rhyaciano - Metamórfica – Metamorfismo regional. (2) MP_gamma_i – Granitóides indiscriminados: Metagranitos, metagranodioritos, metamonzodioritos. Mesoproterozóico Calimiano - Metamórfica – Metamorfismo regional. A figura 36 mostra o mapa de geologia local esboçado pelo DNPM/DICAM (2008).



PP2se – Complexo Sertânia: Paragnaisses, paramigmatitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos, mármores dolomíticos e calcíticos, metavulcânicas. Metamorfismo regional

MP_gamma_i - Granitóides indiscriminados: Metagranitos, metagranodioritos, metamonzodioritos. Metamorfismo regional

Figura 36 – Geologia local da região de Sertânia – PE (fonte: SIGMINE, DNPM/DICAM, 2008)

Em escala micrométrica na área da pedreira do Sítio Jaú há uma predominância de migmatito homogêneo de estrutura nebulítica a dobrada, com neossoma róseo-avermelhado rico em quartzo, k-feldspato e paleossoma constituído por quartzo, granada e bastante biotita, indicando uma origem paraderivada.

Segundo MENDES (2008) os metatexitos são dominantes em relação aos biotitas gnaisses granadíferos eventualmente migmatizados, com neossoma cinza-esbranquiçado. Localmente os migmatitos do tipo metatexito, mostram-se bastantes deformados constituindo uma rocha formada por faixas de coloração cinza-escura intercaladas por leitões de tonalidades róseo-avermelhada, que se apresentam ondulados e dobrados. As figuras 37 e 38 mostram os dois principais litotipos encontrados na área da pedreira do Sítio Jaú, respectivamente o migmatito róseo-avermelhado deformado (granito Vermelho Frevo) e os diques pegmatíticos de rocha granítica.



Figura 37 – Migmatito róseo avermelhado bastante deformado (granito Vermelho Frevo).



Figura 38 – Dique de rocha granítica de coloração rósea na área do Sítio Jaú.

1.4.3 Aspectos fisiográficos e sócio-econômicos

O município de Sertânia está localizado na região do sertão no estado de Pernambuco, na microregião do Moxotó. Foi criado através da homologação da Lei Provincial nº 1.093 de 24 de maio de 1873, desmembrado do Município de Afogados da Ingazeira.

Saindo do Recife o acesso é feito pela BR 232, percorrendo-se aproximadamente 285 km até a cidade de Cruzeiro do Nordeste, tomando-se a partir desse ponto a BR 110 rumo ao norte e percorrendo cerca de 31 km até chegar-se a sede do município de Sertânia.

1.4.3.1 *Relevo*

O município de Sertânia está situado totalmente na região do Moxotó, seu relevo varia de plano a suave ondulado.

1.4.3.2 *Vegetação*

A vegetação encontrada dentro da área correspondente ao município de Sertânia é típica do sertão nordestino constituindo-se predominantemente de Caatinga hiperxerófila. A figura 39 mostra a vegetação encontrada na área do Sítio Jaú.



Figura 39 – Detalhe da vegetação predominante na área do Sítio Jaú.

1.4.3.3 *Clima*

O clima é semi-árido quente, com temperatura média anual de 23,7°C, segundo classificação de Koeppen.

1.4.3.4 *Hidrografia*

O município está inserido na bacia hidrográfica do rio Moxotó, a precipitação pluviométrica anual é da ordem de 635 mm, onde os maiores valores ocorrem nos meses de março e abril.

1.4.3.5 *Perfil sócio-econômico (IBGE)*

Segundo o censo demográfico realizado pelo IBGE em 2000, a população total do município é de 31.657 habitantes, sendo que 17.047 pessoas ocupam a zona urbana e 14.610 na zona rural.

O município dispõe de 02 hospitais, 15 unidades ambulatoriais, 90 estabelecimentos de ensino e 08 estabelecimentos de ensino a nível médio, 04 estações repetidoras de televisão, uma biblioteca pública e um museu.

CAPÍTULO II – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Levantamento de campo

Um importante procedimento no conhecimento do material a ser explotado é identificar as características geológicas e tecnológicas com o objetivo de quantificar e qualificar os variados tipos de rochas ornamentais. Esse procedimento consiste na visita ao campo para coleta de dados, amostragem e análise do local. O descumprimento desse procedimento muitas vezes leva ao abandono da jazida a ser explotada.

Segundo KALVELAGE (2001), o planejamento inicial na extração de rochas ornamentais consiste no conhecimento básico dos fatores fundamentais que possam qualificar o material a ser explotado. Esses fatores são classificados conforme dois aspectos:

- a) Propriedades características do afloramento;
- b) Fatores condicionantes de exploração.

No levantamento de dados esses fatores são relevantes no desenvolvimento de um projeto de exploração de uma jazida. Os dados devem ser representativos do local de um possível empreendimento.

De uma forma geral, a caracterização de uma rocha ornamental envolve a determinação e avaliação de diversas características tecnológicas (FRAZÃO & FARJALLAT, 1996; VIDAL, 1995), tais como análise petrográfica, determinação de índices físicos, propriedades geomecânicas e estudos de alterabilidade.

Para KALVELAGE (2001), dentre as características do afloramento temos a localização do depósito, tamanho da pedreira (aproximado), formação geológica e o tipo de rocha. Também deve ser destacada a distribuição espacial da formação geológica, posicionamento estratigráfico, densidades da encaixante e da rocha lavrável, classificação petrográfica da litologia e sua descrição, origem da ocorrência e sua forma, principais elementos estruturais, relação de contato com outras formações, clivagem, etc...

Os principais fatores condicionantes na exploração de uma pedreira de rocha ornamental são: a semelhança do material explotável com outras rochas conhecidas comercialmente, características tecnológicas, acesso ao local da pedreira, viabilidade da rocha, nível de produção, qualidade do polimento e facilidade de trabalho na frente de lavra.

2.2 Coleta de dados

Na coleta de dados “in loco” na área do Sítio Jaú foi utilizada a técnica de levantamento através de uma “scanline” de aproximadamente 250 m de extensão. Com o uso de um aparelho GPS Garmin 12, foram definidos 6 pontos (estações base) com as respectivas coordenadas geográficas e distância de 50 m entre eles sobre o maciço rochoso numa linha imaginária de direção leste oeste. A tabela 1 apresentada em mapa também nos anexos mostra a posição de cada ponto e as fraturas encontradas. No percurso de avanço do último ponto coletado para o seguinte se verificava a existência de fraturas, foliações, diques graníticos e pegmatíticos e defeitos naturais no maciço. A figura 40 mostra a equipe de campo identificando as descontinuidades encontradas entre os pontos 2 e 3. Os dados coletados foram: abertura da fratura, comprimento, ângulo de mergulho, direção e presença de outras fraturas próximas na mesma direção e no sentido conjugado. As fraturas conjugadas são descontinuidades em que o ângulo de inclinação com a fratura principal é de aproximadamente 90 graus.

Cada detalhe litológico observado no levantamento foi registrado na planilha de campo: presença de diques, movimento da rocha, presença de xenólitos, mudança de cores no granito estudado, presença de fraturas e outros defeitos estruturais.



Figura 40 – Observação das fraturas encontradas entre os pontos 2 e 3 da “scanline”.

2.3 Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas baixas

Foram utilizados dois métodos para o corte das bancadas baixas e altas: o uso do fio diamantado e o uso da perfuratriz com a argamassa expansiva. O procedimento para o corte das bancadas baixas segue como mostra figura 41 e em seguida as tabelas mostram: o volume, área de corte, desdobramento das pastilhas, perfuração, tecnologia de corte, ciclo de produção e memória de cálculo.

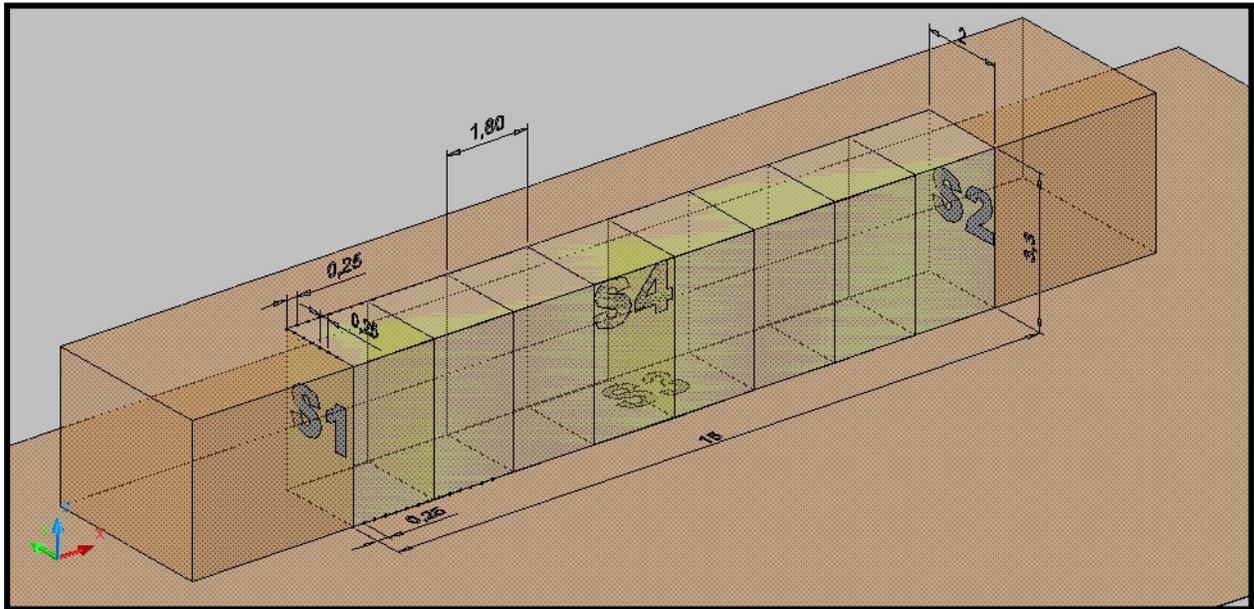


Figura 41 – Distribuição dos cortes nas bancadas.

Tabela 01- Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas baixas.

Volume total:	15 x 2 x 3,3	99 m ³
Área total de corte:		
S1:	2 x 3,3	6,6 m ²
S2:	2 x 3,3	6,6 m ²
S3:	2 x 15	30 m ²
S4:	2 x 15	30 m ²
Total:		73,2 m ²

PERFURAÇÃO			
CORTE PRIMÁRIO			
Dados gerais:			
Espaçamento entre furos:		25 cm (argamassa)	
Velocidade de penetração		20 m/h	
Diâmetro de perfuração		30 mm	
S1			
Comprimento do corte		2 m	
Comprimento do furo		3,3 m	
Número de furos		8 x 3,3 m	26,4 m
Tempo de perfuração	26,4/20	1,32 h	2 h
S2			
Comprimento do corte		2 m	
Comprimento do furo		3,3 m	
Número de furos		8 x 3,3 m	26,4 m
Tempo de perfuração	26,4/20	1,32 h	2 h
S3			
Comprimento do corte		15 m	
Comprimento do furo		2 m	
Número de furos		60 x 2 m	120 m
Tempo de perfuração		120/20	6 h
S4			
Comprimento do corte		15 m	
Comprimento do furo		3,3 m	
Número de furos		60 x 3,3 m	198 m
Tempo de perfuração	198/20	9,9	10 h

PERFURAÇÃO			
DESDOBRAMENTO DOS BLOCOS DA BANCADA			
Dados gerais:			
Espaçamento entre furos:		20 cm (cunhas)	
Velocidade de penetração		20 m/h	
Diâmetro de perfuração		25 mm	
Cortes transversais			
Comprimento do corte		2 m	
Comprimento do furo		3,3 m	
Número de furos		10 x 3,3 m	33 m
Tempo de perfuração	33/20	1,65	2 h
Número de cortes por bancadas:		7 cortes	
Número de furos por bancadas:		70 furos	
Comprimento total por bancadas:		70 x 3,3 m	231 m
Tempo total de perfuração por bancadas:		11,55	12 h

PERFURAÇÃO			
RESUMO ÍNDICES DE PERFURAÇÃO:			
Comprimento total de corte:			
Corte da bancada primária:		34 m	
Corte dos blocos:		14 m	
Total:		48 m	
Comprimento total de perfuração:			
Corte da bancada primária		370,8 m	
Corte dos blocos		231,0 m	
Total		601,8 m	
Tempo de perfuração			
Corte das bancadas		20 h	
Corte dos blocos		3,3 m	
Total	32 h	8 h/dia	4 dias
Relação m furação/produção			
R1 (m/m ³)	601,8 m/99 m ³		6,08
Velocidade média do corte	92,7 m ² /32 h		2,89 m ² h

TECNOLOGIAS DE CORTE			
CORTE DA BANCADA:			
Argamassa expansiva:			
Comprimento total de furação	370,8 m (136 furos)		
Consumo de argamassa (furo de 30 mm):	1,1 kg/m		
Consumo total:	407,8 kg		
Tempo de execução:			
Preparação da pasta e colocação nos furos:	4,5 h		
Reação da argamassa:	18 h		
Tempo total:	22,5 h		
CORTE DOS BLOCOS			
Cordel detonante Np5			
Comprimento total de furação:	231 m		
Consumo estimado de cordel:	300 m		
Acessórios:			
Espoleta + estopim de 1,5 m:			
Número de cortes:	7		
Total de acessórios:	7 unidades		
Tempo de amarração:	70 furos x 30"	35'	1 h
Cunhas manuais			
Tempo de colocação das palmilhas	20" x 70 furos	23,33'	0,5 h
Tensionamento das palmilhas até o corte:	10'		
Número de cortes:	7 x 10'	70'	1,5 h
Tempo total de execução dos cortes:	2 h		

CICLO DE PRODUÇÃO			
CORTE DA BANCADA			
Perfuração+argamassa expansiva:	20 h+ 22,5 h	42,5 h	
CORTE DOS BLOCOS			
CICLOS DE PRODUÇÃO			
Perfuração+argamassa (bancadas)	42,5 h		
Perfuração+cordel (blocos):	13,0 h		
Total	55,5 h		
Perfuração+argamassa (bancadas)	42,5 h		
Perfuração+cunhas (blocos):	14,0 h		
Total	56,5 h		

MEMÓRIA DE CÁLCULO			
Recuperação prevista na lavra:		22%	
Volume bruto por bancada:		99 m ³	
Volume líquido estimado:		21,78 m ³	
Superfície total do corte			
Corte da bancada:		73,2 m ²	61%
Corte dos blocos:		46,2 m ²	39%
Superfície total		119,4 m ²	100%
Relação superfície de corte/produção – R (m ² /m ³)			
R1 (m ² /m ³):	119,4 m ²	99 m ³	1,21
R2 (m ² /m ³):	119,4 m ²	21,78 m ³	5,50

2.4 Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas altas

O procedimento para o corte do volume primário leva em consideração vários fatores tratados na planilha abaixo tais como: volume, área, corte secundário, desdobramento das pastilhas, perfuração, tecnologias de corte, ciclo de produção e memória de cálculo as figuras 42, 43 e 44 mostram o desenvolvimento das etapas seguidas na planilha.

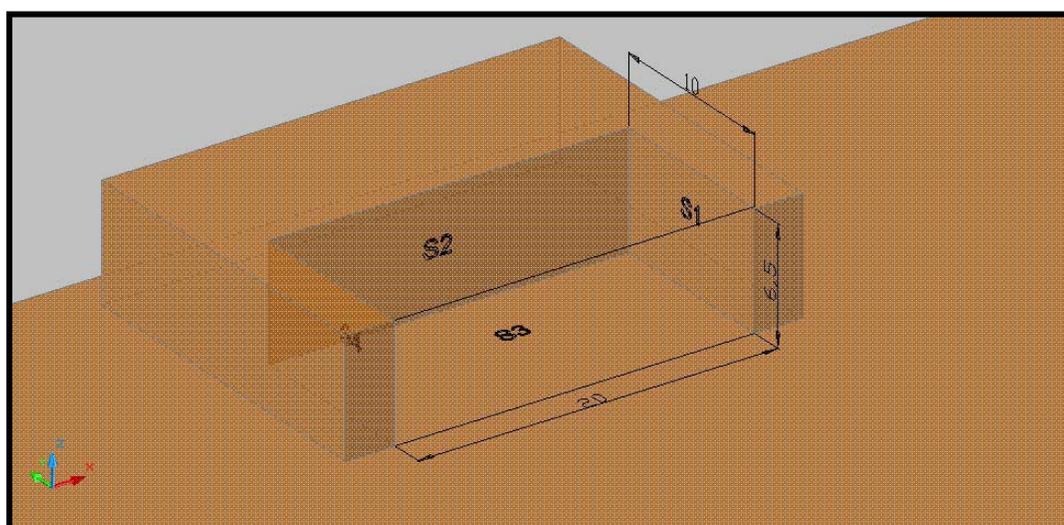


Figura 42 – Distribuição das medidas para o corte do volume primário.

Tabela 02- Ciclos de produção da lavra de blocos ornamentais - bancadas altas.

Volume total:	20 x 10 x 6,5	1.300 m ³
Área total de corte		
S1:	10 x 6,5	65 m ²
S2:	20 x 6,5	130 m ²
S3:	20 x 10	200 m ²
S4:	10 x 6,5	65 m ²
Total:		460 m ²

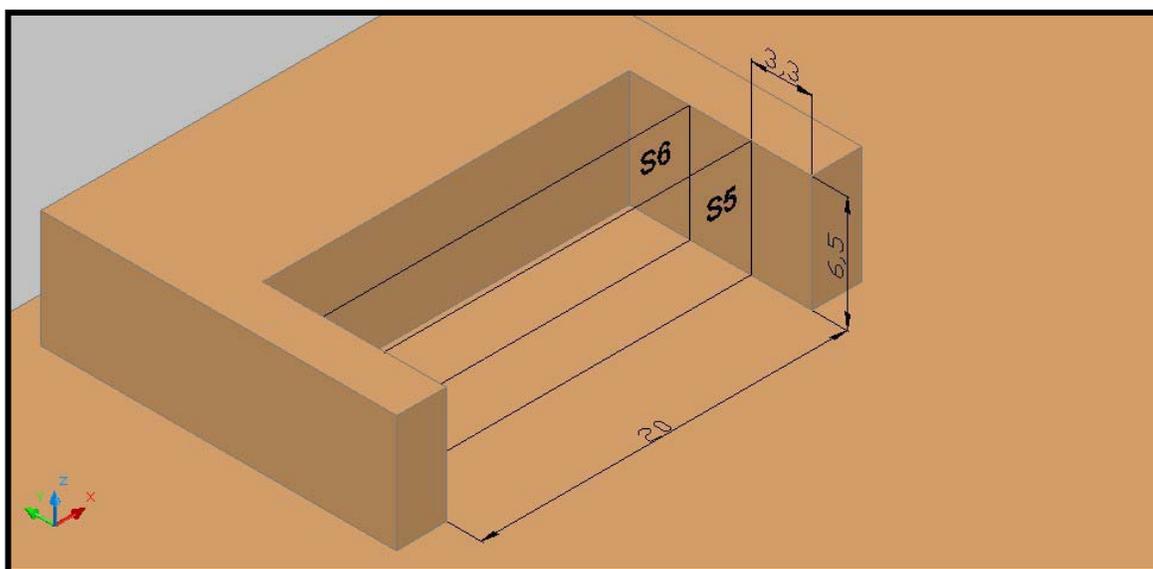


Figura 43 – Distribuição das áreas para o corte do volume secundário.

Volume pastilhas:	20 x 6,5 x 3,3	429 m ³
Volume total:	3 x 429	1.287 m ³
Área total de corte		
S5:	20 x 6,5	130 m ²
S6:	20 x 6,5	130 m ²
Total		260 m ²

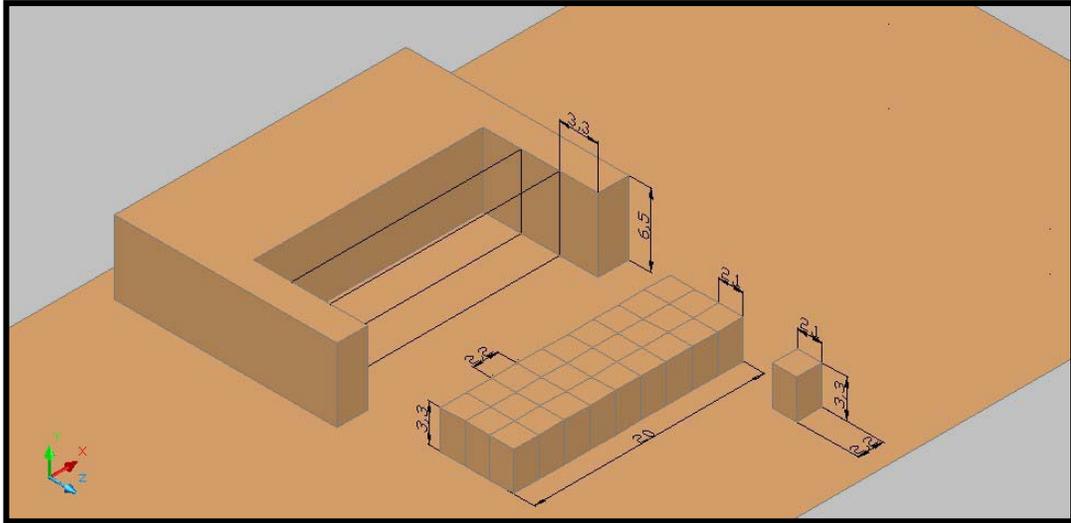


Figura 44 – Desdobramento das pastilhas.

Volume pastilha:			420 m ³
Blocos/pastilhas		3 x 9	27 blocos
Volume do bloco:		3,3 x 2,2 x 2,1	15,24 m ³
Volume bloco/pastilha:		27 x 15,24	410,4 m ³
Volume total de blocos:		3 pastilhas x 410,4	1.231,2 m ³
Área total de corte			
2 cortes:	20 x 3,3	66 x 2	132 m ²
9 cortes:	6,5 x 3,3	21,45 x 9	193,05 m ²
Total por pastilhas:			325,05 m ²
Total:		3 x 325,05	975,15 m ²

PERFURAÇÃO			
CORTE PRIMÁRIO			
Dados gerais:			
Espaçamento entre furos:		30 cm	
Velocidade de penetração		20 m/h	
Diâmetro de perfuração		30 mm	
S1			
Comprimento do corte		10 m	
Comprimento do furo		6,5 m	
Número de furos		33 furos x 6,5 m	211,2 m
Tempo de perfuração	211,2 m/20 m/h	10,56	11 h
S2			
Comprimento do corte		20 m	
Comprimento do furo		6,5 m	
Número de furos		66 furos x 6,5 m	422,4 m
Tempo de perfuração	422,4 m/20 m/h	21,12	22 h
S3			
Comprimento do corte		20 m	
Comprimento do furo		10 m	
Número de furos		66 furos x 10 m	660 m
Tempo de perfuração		660 m/20 m/h	33 h
S4			
Comprimento do corte		10 m	
Comprimento do furo		6,5 m	
Número de furos		33 furos x 6,5 m	211,4 m
Tempo de perfuração	211,4 m/20 m/h	10,56	11 h

PERFURAÇÃO			
CORTE SECUNDÁRIO			
Dados gerais:			
Espaçamento entre furos:		30 cm	
Velocidade de penetração		20 m/h	
Diâmetro de perfuração		30 mm	
S5			
Comprimento do corte		10 m	
Comprimento do furo		6,5 m	
Número de furos		66 furos x 6,5 m	429 m
Tempo de perfuração	429 m/20 m/h	21,45	22 h
S6			
Comprimento do corte		20 m	
Comprimento do furo		6,5 m	
Número de furos		66 furos x 6,5 m	429 m
Tempo de perfuração	429 m/20 m/h	21,45	22 h

PERFURAÇÃO			
DESDOBRAMENTO PASTILHAS			
Dados gerais:			
Espaçamento entre furos:		20 cm	
Velocidade de penetração		20 m/h	
Diâmetro de perfuração		25 mm	
Cortes transversais			
Comprimento do corte		6,5 m	
Número de cortes		9 m	
Comprimento total	9 x 6,5 m	58,5 m	
Cortes longitudinais:			
Comprimento do corte		20 m	
Número de cortes		2 m	
Comprimento total	2 x 20m	40 m	
Comprimento total de corte:	58,5 + 40	98,5 m	
Número de furos por pastilha:	98,5 x 0,20 m	493 furos	
Comprimento total por pastilha:	493 x 3,3	1.626,9 m	
Tempo de perfuração por pastilha	81,34	82 h	
Considerando 3 pastilhas tem-se:			
Número total de furos:	3 x 493 m	1.479 furos	
Comprimento total:	1.479 x 3,3	4.880,7 m	
Tempo total de perfuração:		244 h	

PERFURAÇÃO			
RESUMO ÍNDICES DE PERFURAÇÃO:			
Comprimento total de corte:			
Corte primário:			60 m
Corte secundário:			40 m
Desdobramento pastilhas:	98,5 x 3		295 m
Total			395 m
Comprimento total de perfuração:			
Corte primário:			1.505 m
Corte secundário:			858 m
Desdobramento pastilhas:			4.881 m
Total			7.244 m
Tempo de perfuração			
Corte primário:			77 h
Corte secundário:			44 m
Desdobramento pastilhas:			244
Total		365 h	8 h/dia
Relação m furação/produção			
R1 (m/m ³):	7.244 m/1.300 m ³		5,57
R2 (m/m ³):	7.244 m/1.300 m ³		5,57
Velocidade média do corte		1.825 m ² /365 h	5 m ² h

TECNOLOGIAS DE CORTE		
CORTE PRIMÁRIO:		
Fio diamantado:		
Área do corte:		460 m ²
Velocidade estimada de corte:		4 m ² /h
Tempo de execução:		115 h
Preparação dos 3 cortes:		
Preparação vertical:	2 furos x 6,5 m	13 m
Preparação horizontal:	2 furos x 10 m	20 m
Comprimento total:		43 m
Velocidade de perfuração:		10 m/h
Tempo total de perfuração	4,3	5 h
Enlace do fio e preparação da máquina:		
3 cortes x 1,5 h	4,5 h	5 h
Tempo total de execução dos cortes:		125 h
CORTE SECUNDÁRIO:		
Área de corte:		390 m ²
Velocidade estimada de corte:		4 m ² /h
Tempo de execução:	97,5	98 h
Tempo de preparação dos 2 cortes	1,5 x 2	3 h
Tempo total de execução dos cortes:		101 h
Total fio diamantado:		
Superfície total a ser cortada:		850 m ²
Tempo total de operação:		216 h

TECNOLOGIAS DE CORTE	
CORTE PRIMÁRIO:	
Argamassa expansiva:	
Comprimento total de furação	1.505 m (198 furos)
Consumo de argamassa (furo de 30 mm):	1,1 kg/m
Consumo total:	1.655,5 kg
Tempo de execução:	
Preparação da pasta e colocação nos furos:	6 h
Reação da argamassa:	18 h
Tempo total:	24 h
CORTE SECUNDÁRIO:	
Argamassa expansiva:	
Comprimento total de furação:	858 m
Consumo de argamassa (furo de 30 mm):	1.1 kg/m
Consumo total:	1.655,5 kg
Tempo de execução:	
Preparação da pasta e colocação nos furos:	4 h
Reação da argamassa:	18 h
Tempo total:	22 h

TECNOLOGIAS DE CORTE	
DESDOBRAMENTO DAS PASTILHAS (OBTENÇÃO DOS BLOCOS)	
Cordel detonante Np5	
Comprimento total de furação::	4.880,7 m
Consumo estimado de cordel:	5.500 m
Acessórios:	
Espoleta + estopim:	1,5 m
Número de cortes:	9 (transversais) x 3 pastilhas
Corte dos blocos:	10 sub-pastilhas x 3 pastilhas
Total de acessórios:	57 unidades
Tempo de amarração:	1.185 furos x 30" 987 10 h
Cunhas manuais:	
Tempo de colocação das palmilhas:	20" x 1.185 furos 6,58 7 h
Tensionamento das palmilhas até o corte:	10'
Número de cortes:	57 cortes x 10' 570' ; 60 9,5 10 h
Tempo total de execução dos cortes:	10 h

CICLO DE PRODUÇÃO		
CORTE PRIMÁRIO		
Perfuração+argamassa expansiva:	77 h+ 24 h	101 h
Fio diamantado:		125 h
CORTE SECUNDÁRIO		
Perfuração+argamassa expansiva:	44 h+ 22 h	66 h
Fio diamantado:		101 h
DESDOBRAMENTO PASTILHAS		
Perfuração+cordel detonante:	244 h + 20 h	264 h
Perfuração + cunhas manuais:	244 h + 17 h	261 h
CICLOS DE PRODUÇÃO		
Perfuração+argamassa (primário):		101 h
Perfuração+argamassa (secundário):		66 h
Perfuração+cordel (desdobramento pastilha):	10 h	177 h
Perfuração+argamassa (primário):		101 h
Perfuração+argamassa (secundário):		66 h
Perfuração+cunhas (desdobramento pastilha):	17 h	184 h
Fio diamantado (primário):		125 h
Perfuração+argamassa (secundário):		101 h
Perfuração+cordel (desdobramento pastilha):	10 h	236 h
Fio diamantado (primário):		125 h
Fio diamantado (secundário):		101 h
Perfuração+cunhas (desdobramento pastilha):	17 h	243 h

MEMÓRIA DE CÁLCULO		
Recuperação prevista na lavra:		22%
Volume bruto:		1.231,2 m ³
Volume líquido estimado:	1.231,2 x 0,22 m ³	270,9 m ³
Superfície total do corte		
Corte primário:	460 m ²	27%
Corte secundário:	260 m ²	15%
Desdobramento pastilhas:	975 m ²	58%
Superfície total:		1.695 m ²
Relação superfície de corte/produção – R (m ² /m ³)		
R1 (m ² /m ³):	1.695 m ² / 1.231,2 m ³	1,38
R2 (m ² /m ³):	1.695 m ² / 270,9 m ³	6,25
Recuperação global da pedra:	270,9 / 1.300	20,8%

Bancadas baixas (relação m²/m³ = 5,50)

Corte primário (perfuração + argamassa expansiva) = 42,5 h

Corte dos blocos (perfuração + cordel detonante) = 13,0 h

Total = 55,5 h

Bancadas altas (relação m²/m³ 6,25)

Corte primário (perfuração + argamassa expansiva) = 101 h

Corte secundário (perfuração + argamassa expansiva) = 66 h

Desdobramento das pastilhas (perfuração + cunhas manuais) = 17 h

Total 177 h

A princípio melhor alternativa é utilização de bancadas baixas (relação m²/m³ = 5,50) com tecnologias de corte: perfuração + argamassa (cortes primários) e perfuração + cordel detonante (corte dos blocos).

CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Elaboração dos modelos topográficos

Os dados coletados em campo mostrados nas tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentadas nos anexos foram lançados no software SURFER para a criação do mapa topográfico. O mapa topográfico apresentado na figura 45 é o resultado da combinação de dados de campo e tecnologia de processamento no software SURFER 8.0.

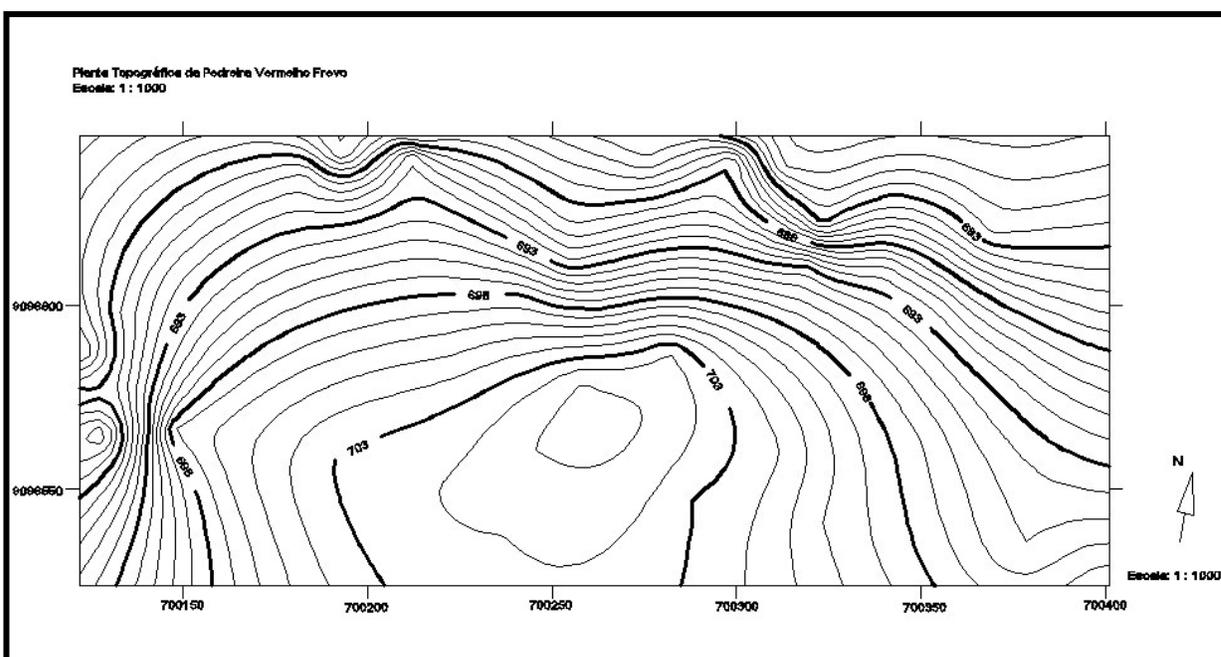


Figura 45 – Planta topográfica da área explotável elaborada no “software” SURFER a partir dos dados coletados em campo.

A figura 46 apresenta a mesma planta topográfica gerada no aplicativo SURFER 8.0. na forma de imagem tridimensional (DTM – “digital terrain modelling”).

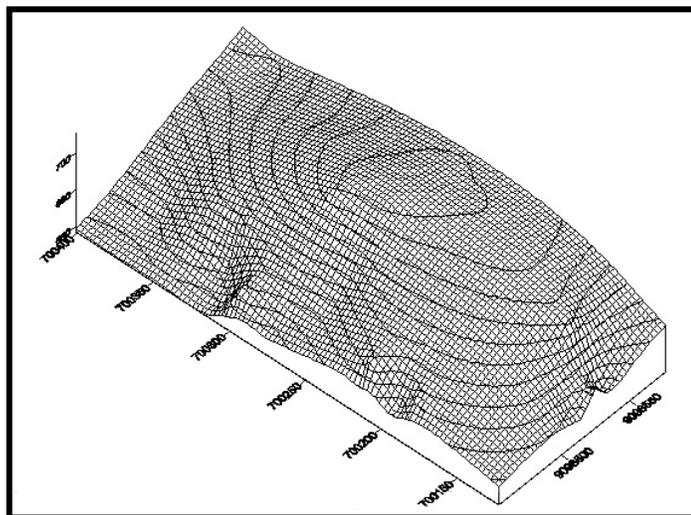


Figura 46 – Modelo tridimensional da área explotável elaborado no “software” SURFER.

A pedreira modelada encontra-se entre as cotas 679 e 705, numa área de 34.038,90 m², com comprimento de 279 m e largura de 122 m, correspondente as coordenadas geográficas aproximadas: latitude entre 700.000 e 700.400 e longitude entre 9.098.500 e 9.098.650 (UTM).

Em anexo são apresentados os resultados do processamento da topografia local no aplicativo SURFER mostrando os cálculos de área e volume bem como o intervalo de variação dos parâmetros geométricos.

A pedreira tem um volume estimado em 545.734,58 m³, valor obtido através de cálculo do modelo desenvolvido no aplicativo AUTOCAD.

As duas frentes de lavra presentes na área da pedreira foram projetadas no software AUTOCAD a partir dos dados do mapa criado no SURFER. Essas frentes de lavra foram iniciadas e desativadas, como mostra o mapa da figura 47.

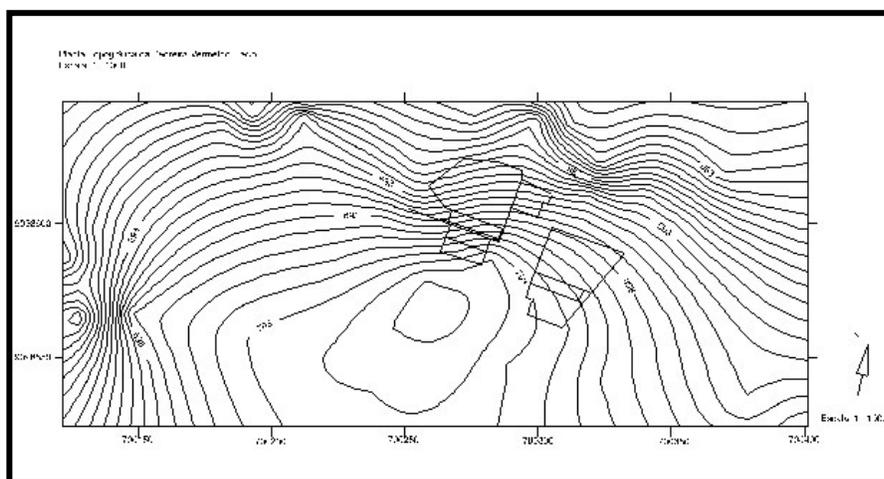


Figura 47 – Representação gráfica das duas frentes de lavra abertas e desativadas na área da pedra do granito Vermelho Frevo no Sítio Jaú, – Sertânia - PE.

As frentes de lavra explotadas no Sítio Jaú correspondem a um volume de 6.432,48 m³, ou cerca 1,18% do volume total do maciço original. Considerando uma recuperação de 20% do volume extraído, estima-se uma produção de cerca de 1.286,49 m³ de blocos comerciais na área da pedra do Sítio Jaú desde sua abertura até o presente momento.

3.2 Elaboração do modelo geológico

O mapa geológico (figura 48) tem a finalidade de representar a litologia local da área da pedra do Sítio Jaú, indicando a disposição espacial das rochas. No modelo geológico final foram acrescentadas as curvas de nível, as fraturas e a localização exata dos corpos pegmatíticos e graníticos encontrados na forma de diques no maciço rochoso migmatítico.

A cor cinza escuro representa os corpos pegmatíticos, ricos em minerais quartzo-feldspáticos de coloração rósea. A cor avermelhada no mapa são granitos equigranulares, não deformados também de coloração rósea. A cor alaranjada é um migmatito homogêneo de tonalidade róseo avermelhado. A cor verde é uma biotita-gnaisse granadífero de coloração cinza-escuro, representante da encaixante do granito Vermelho Frevo.

O migmatito róseo avermelhado deformado em texturas dobradas e bandeadas é o litotipo explotado como rocha ornamental denominado de granito Vermelho Frevo, esse corpo mineral representa uma área de 26.512,21 m² correspondente a 77,94 % do total do maciço rochoso que aflora numa área de 34.038,90 m².

O modelo geológico figura 48 apresenta a distribuição do corpo mineral (migmatito), da encaixante (biotita gnaisse) e de introdução de corpos minerais sem valor comercial (veios pegmatíticos e diques graníticos) na área da pedreira do Sítio Jaú em Sertânia – PE.

Através da distribuição litológica na área pode-se estimar um volume total de exploração de 539.302,33 m³ das quais cerca de 75% corresponde à reserva de granito Vermelho Frevo.

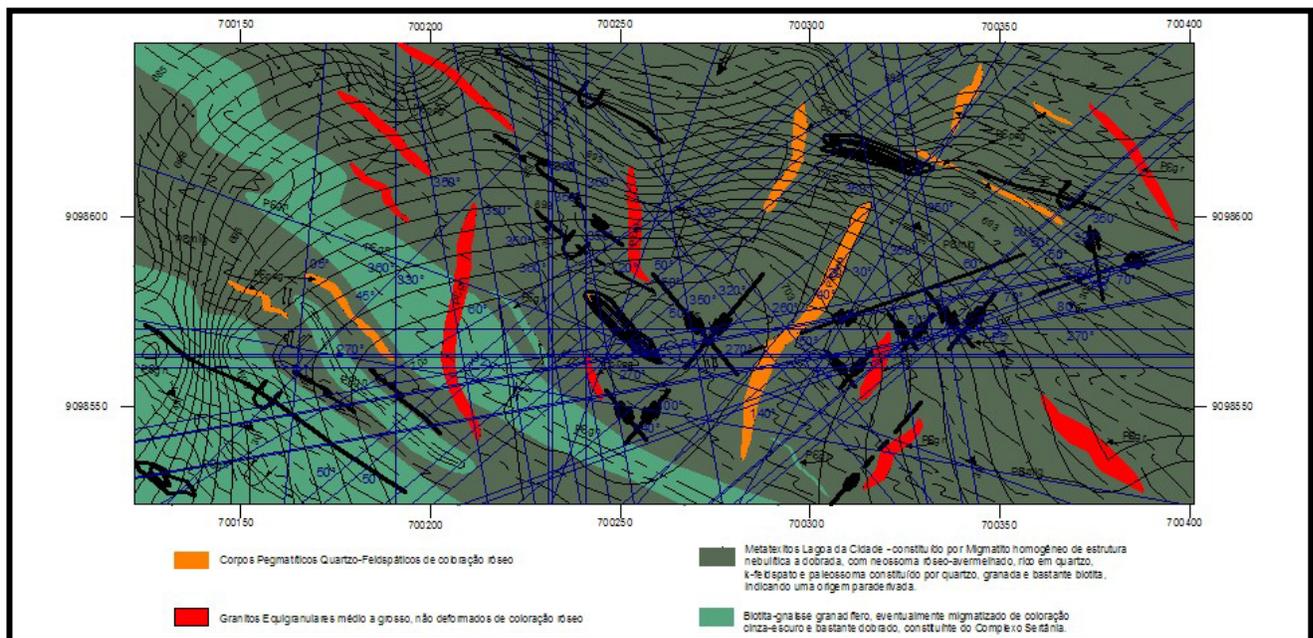


Figura 48 – Mapa geológico local da área da pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú Sertânia –PE.

3.3 Elaboração do mapa estrutural

O mapa estrutural tem a finalidade de identificar as falhas e fraturas naturais existentes no maciço rochoso. Na etapa de coleta de dados em campo, essas falhas e fraturas foram catalogadas quanto à direção e ângulo de mergulho. A tabela 1 em anexo mostra as fraturas encontradas e o comportamento espacial. O mapa da figura 49 exemplifica melhor a direção dessas fraturas e a sua distribuição na área da pedreira.

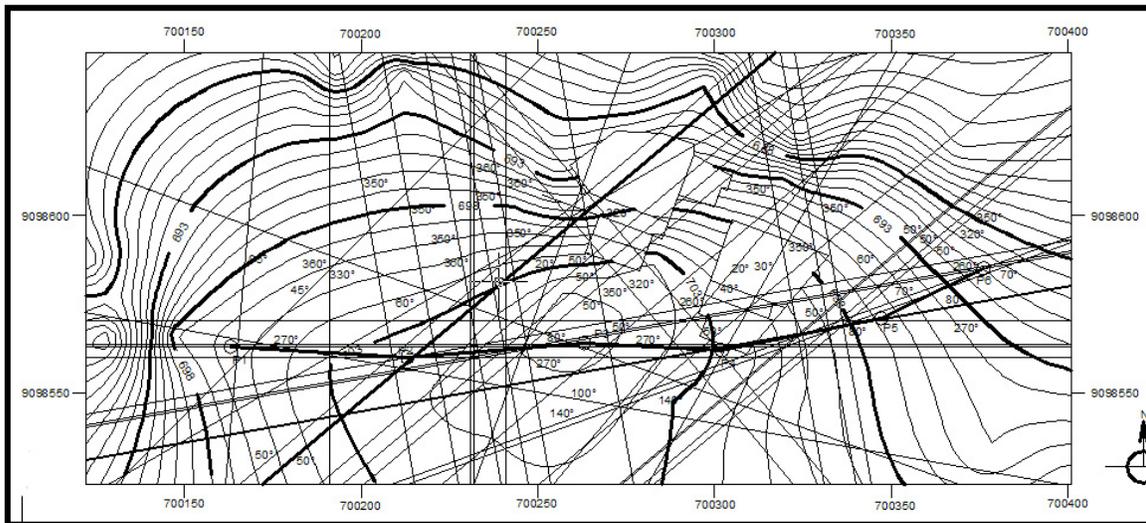


Figura 49 – Mapa estrutural da área da pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú.

As direções preferenciais de ocorrência de fraturas se distribuem ao longo dos azimutes 50° e 350° (figura 50). O espaçamento entre as fraturas é em média de 7,46 m, permitindo assim a exploração de blocos comerciais com sentido preferencial de lavra na direção das fraturas principais: 350° Az.

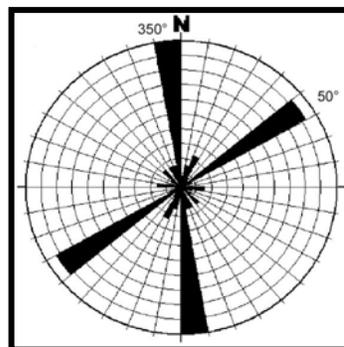


Figura 50 – Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado nas direções 50° Az e 350° Az.

3.4 Desenvolvimento do modelo experimental em 3D

O “software” escolhido para desenvolver o modelo experimental tridimensional foi o 3D STUDIO MAX versão R3. O programa em tela é específico para esse tipo de tarefa e principalmente para a animação virtual.

Os arquivos de topografia, geologia e estruturas geológicas foram importados em duas dimensões do software AUTOCAD e no 3D SUDIO MAX foi criado o volume em 3D por uma malha editável (editable mesh).

Com o auxílio do mapa topográfico na escala natural ou não, as curvas são movidas para as suas respectivas elevações e em seguida são convertidas em uma malha editável. Com a nova convenção podemos criar triângulos ou quadriláteros entre duas curvas com os vértices colados nas curvas. A figura 51 mostra o início da criação do modelo tridimensional, com o uso da malha editável. Em seguida é colocado um modificador (MeshSmooth) para simular as características da superfície do terreno (figura 52) mostrando o maciço rochoso no ambiente virtual. Na figura 53 foram adicionados os defeitos naturais (diques e fraturas) para melhor visualização da pedreira do Sítio Jaú.

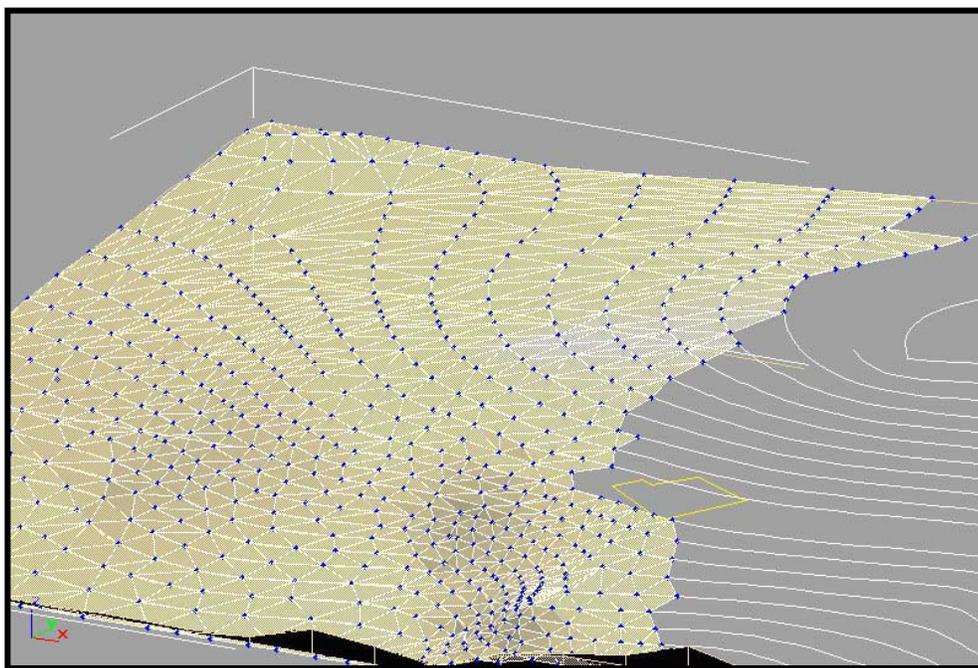


Figura 51– Criação da malha editável (editable mesh).

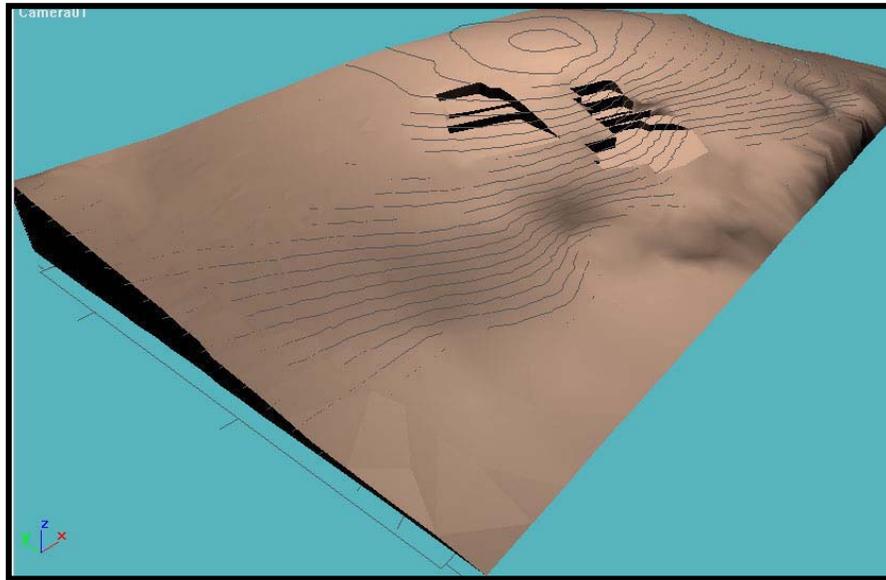
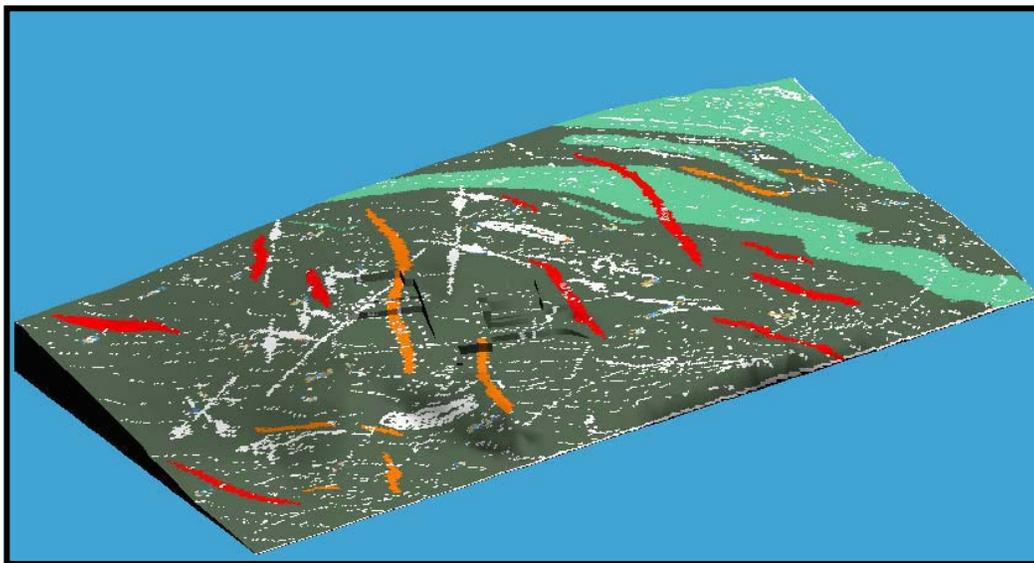


Figura 52 – Superfície pronta com as duas frentes de lavra existentes e desativadas.



- Corpos Pegmatíticos Quartzo-Feldspáticos de coloração róseo
- Granitos Equigranulares médio a grosso, não deformados de coloração róseo
- Metatexitos Lagoa da Cidade - constituído por Migmatito homogêneo de estrutura nebulítica a dobrada, com neossoma róseo-avermelhado, rico em quartzo, k-feldspato e paleossoma constituído por quartzo, granada e bastante biotita, indicando uma origem paraderivada.
- Biotita-gnaiss granadífero, eventualmente migmatizado de coloração cinza-escuro e bastante dobrado, constituínte do Complexo Sertânia.

Figura 53 – Visualização dos diques pegmatíticos (graníticos), corpos rochoso sem valor comercial no modelo digital da pedreira do Sítio Jau.

O volume total do maciço foi estimado a partir do levantamento topográfico em 545.734,58 m³. Retirando desse total o volume das duas frentes de lavra operadas, que corresponde a 6.432,48 m³, o volume restante chega a 539.302,33 m³, correspondente a 98,82% do volume original do maciço, sem levar em consideração as eventuais perdas na lavra. A partir desse ponto na primeira simulação a reserva foi distribuída em blocos com dimensões comerciais (3,25 x 1,62 x 1,8 m) explotados na direção das bancadas atuais da área já lavrada. Retirando os blocos que não atingiram as dimensões mencionadas, o resultado parcial da distribuição dos blocos soma um total de 54.004 unidades com volume de 9,5 m³ correspondendo a uma reserva de 513.038 m³ ou 95,13% do volume original do maciço.

Removendo-se também do total, os blocos que interceptam defeitos estruturais presentes na área (diques e fraturas), conforme mostra a figura 54, o volume remanescente chega a 345.310,88 m³ ou 64,02% do volume original do maciço, que corresponde a 36 349 blocos.

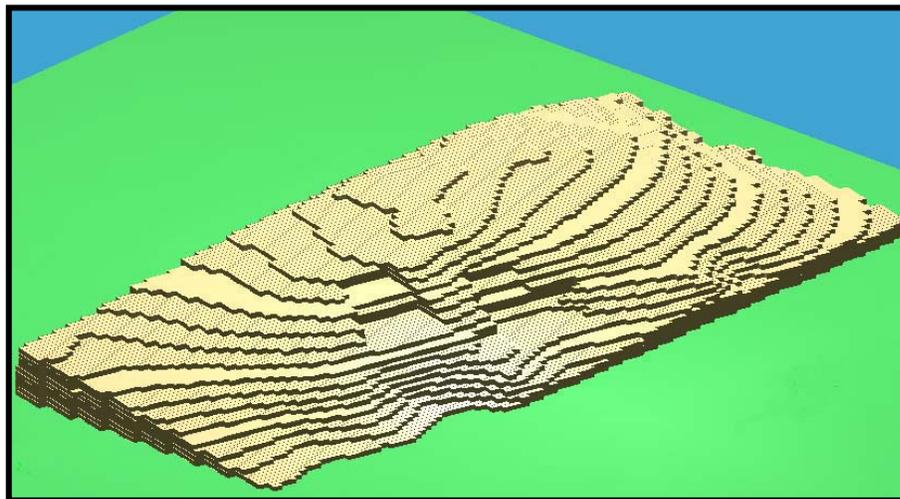


Figura 54 – Distribuição dos blocos no sentido das frentes de lavra existente.

Uma nova simulação executada no ambiente virtual foi a distribuição de blocos na pedreira no sentido do fraturamento principal do maciço rochoso. Efetuando-se a remoção dos blocos defeituosos, como na simulação anterior, chega-se a um total de 380.532,00 m³ ou 70,56% do volume original do maciço com 40.056 blocos, figura 55.



Figura 55 – Distribuição dos blocos no sentido da fratura principal 350° Az.

Outra simulação realizada ainda no ambiente virtual foi a distribuição de blocos explotados na posição vertical, no mesmo sentido do fraturamento principal, conforme mostra a figura 56. Obtiveram-se os seguintes resultados: total de blocos 55.468 unidades, volume total: 526.946,00 m³. Efetuando-se a remoção dos blocos defeituosos, o volume remanescente chega a 361.817,00 m³ ou 67,08% do volume original do maciço rochoso com 38.086 blocos.

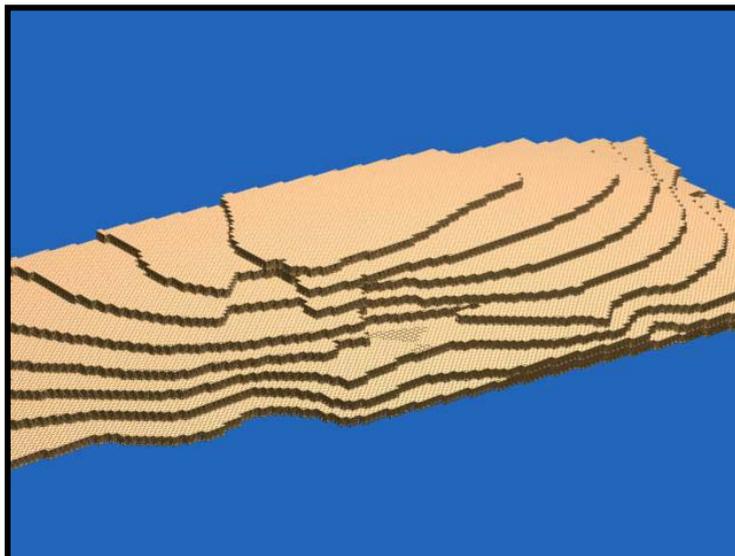


Figura 56 – Distribuição de blocos verticais no sentido da fratura principal 350° Az.

A tabela 03 mostra os resultados obtidos através das simulações virtuais.

Tabela 03 – Recuperação estimada da jazida nas simulações realizadas.

	Volume (m³)	Blocos	%
Área da pedreira para exploração	545.734,58	57 446	100
Duas frente de lavra operadas	6.432,48	677	1,18
Reseva remanescente	539.302,33	56 769	98,82
Blocos com dimensões comerciais	3,25 x 1,62 x 1,8	9,5 m³	
Primeira simulação na direção das frentes de lavra existentes			
	Volume (m³)	Blocos	%
Reseva remanescente	539.302,33	56.769	100
Blocos que não atingiram dimensões comerciais	26.264,33	2.765	4,87
Resultado parcial da reseva	513.038	54.004	95,13
Blocos que interceptam defeitos estruturais	167.727,12	17.655	31,10
Reseva remanescente explotável	345.310,88	36.349	64,02
Segunda simulação na direção da fratura principal 350° Az			
	Volume (m³)	Blocos	%
Reseva remanescente	539.302,33	56.769	100
Blocos que não atingiram dimensões comerciais	26.264,33	2.765	4,87
Resultado parcial da reseva	513.038	54.004	95,13
Blocos que interceptam defeitos estruturais	132.506,00	13.948	24,56
Reseva remanescente explotável	380.532,00	40.056	70,56
Terceira simulação na direção da fratura principal 350° Az com os blocos na posição vertical			
	Volume (m³)	Blocos	%
Reseva remanescente	539.302,33	56.769	100
Blocos que não atingiram dimensões comerciais	12.356,33	1.301	2,30
Resultado parcial da reseva	526.946,00	55.468	97,70
Blocos que interceptam defeitos estruturais	165.129,00	17.382	30,62
Reseva remanescente explotável	361.817,00	38.086	67,08
Resumo			
	Volume (m³)	Blocos	%
Primeira simulação	345.310,88	36.349	64,02
Segunda simulação	380.532,00	40.056	70,56
Terceira simulação	361.817,00	38.086	67,08
Melhor alternativa segunda simulação	380.532,00	40.056	70,56

Levando em consideração a melhor alternativa de posicionamento dos blocos tem-se uma reserva potencial de 380.532 m³ do granito para futura lavra na pedreira. Considerando ainda uma recuperação média na lavra de 20% do material desmontado, chega-se a uma expectativa de reserva da ordem de 76.106,40 m³ de rocha ornamental.

Como o preço de venda médio do material é estimado em U\$ 600,00 por m³, tem-se um potencial econômico de aproximadamente US\$ 45.663.840,00 na área remanescente da pedreira do Granito Vermelho Frevo no Sítio Jaú em Sertânia – PE.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PRELIMINAR

A análise de viabilidade econômica preliminar para a área em estudo refere-se à determinação dos parâmetros técnicos e econômicos necessários à implantação de uma pedreira para extração de blocos de rocha ornamental. São apresentadas a seguir as estimativas das expectativas de retorno e despesas associadas ao investimento na abertura/continuidade da lavra de blocos comerciais de rocha ornamental na pedreira do Sítio Jaú em Sertânia – PE.

Os parâmetros econômicos foram definidos para um nível de produção correspondente a cerca de 312 m³/mês de blocos com dimensões comerciais. Essas dimensões foram definidas no seguinte padrão geométrico: largura de 1,6 m; altura de 1,8 m e comprimento de 3,2 m; definindo um bloco com aproximadamente 9,2 m³ de volume.

A produção mensal definida em 312 m³ corresponde a uma distribuição de blocos nas seguintes categorias: 150 m³/mês de blocos de 1ª qualidade (textura uniforme) com preço de venda de US\$ 600,00 / m³ para comercialização no mercado externo e 162 m³/mês de blocos de 2ª qualidade (textura desordenada com incorporação de outros minerais na composição do Granito Vermelho Frevo) com preço de venda de R\$ 600,00 / m³ para comercialização no mercado interno.

Pela legislação atual a produção de blocos destinados à exportação não é tributada, enquanto a produção destinada ao mercado interno sofre uma tributação de 17% referente ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS.

O desenvolvimento dos parâmetros técnicos e econômicos determinados para essa avaliação é apresentado a seguir.

4.1 Infra-estrutura

4.1.1 Considerações gerais

O objetivo do empreendimento é a realização da lavra em maciço aflorante de granito para extração de bloco. Durante a fase de lavra serão extraídos cerca de **312 m³/mês** de blocos de rocha.

O plano de lavra envolve não somente as etapas de lavra, ou seja, operações unitárias de desmonte, carregamento e transporte, mas, também, as etapas de desenvolvimento que antecedem a lavra e cuja finalidade é a preparação da jazida para facultar a fase seguinte. No caso particular do Sítio Jaú, os trabalhos de preparação da pedreira ou desenvolvimento serão extremamente reduzidos em função da pedreira já estar aberta e o maciço encontrar-se praticamente aflorante ao longo de toda a área da jazida prevista para exploração.

4.1.2 Desenvolvimento

A configuração da lavra requer que alguns trabalhos sejam executados preliminarmente, proporcionando um melhor controle de qualidade e melhores taxas de recuperação. Desta forma, o suprimento do mercado consumidor é garantido, além da minimização da degradação ambiental.

Esta fase consiste da execução de todos os serviços preparatórios para a lavra, ou seja, os de criar uma infra-estrutura local, como vias de acesso, depósitos de estéril/ rejeito, solo orgânico, decapeamento da jazida, praça de trabalho, pátio de embarque dos blocos, edificações, depósitos de explosivos, sistema de captação de água, drenagem da pedreira, implantação de diques de contenção de particulados sólidos, etc. Enfim, todos os serviços que se fizerem necessários para o início das operações de lavra propriamente ditas.

4.1.3 Recuperação de vias de acesso.

A recuperação dos acessos deverá ser realizada utilizando pá-carregadeira e caminhões com capacidade de 10 toneladas.

Existem varias estradas vicinais que cortam a área. No caso deste projeto teremos apenas que melhorar a qualidade das estradas já existentes. Este acesso se prestará ao tráfego periódico de máquinas pesadas e caminhões transportando insumos, blocos e pessoal lotado na pedreira. Portanto, estes acessos deverão ser ampliados para uma largura compatível ao cruzamento de dois caminhões, com capacidade de um bloco por vez, geralmente utilizados nesta modalidade de lavra, para transporte de blocos.

Um pátio central deve ser aberto destinado ao armazenamento dos blocos produzidos, onde também serão construídos o escritório, almoxarifado e refeitório.

Os acessos secundários deverão ser abertos de forma a permitir ligação às frentes de lavra, construídos essencialmente para permitir o tráfego de equipamentos, veículos de serviço e transporte de blocos para o pátio central.

As seguintes medidas deverão ser adotadas:

- 1 - Aumento da largura da via principal de acesso, principalmente em trechos de curva, compatível ao cruzamento de dois veículos de mesmo porte;
- 2 - Adequação dos raios de curvatura das curvas às manobras seguras para os veículos de transporte;
- 3 - A pista de rolamento deverá ser constantemente aplainada e as curvas construídas com pequenos gradientes voltados para o interior das encostas, no sentido transversal à pista, para anular a força tangencial que tende a jogar o veículo em movimento para fora da estrada;
- 4 - As vias serão sinalizadas com placas educativas e de advertência, indicando velocidades máximas permitidas, área de perigo devido à atividade da lavra e locais apropriados para o estacionamento.

Tais medidas são fatores importantes para um transporte rápido, seguro e econômico, com menor desgaste de pneus, um dos elementos de custo operacional mais elevado, e para a manutenção da regularidade dos ciclos e eficiência do transporte.

4.1.4 Remoção da vegetação, solo superficial e estocagem

Como o maciço alvo encontra-se aflorante, o capeamento consiste basicamente da camada superficial de solo de pequena espessura. Quando presente, parte da vegetação deverá ser removida nos trechos por onde passarão as estradas e locais selecionados para a implantação de edificações, depósitos, pátios e praça de trabalho, onde a lavra será implantada.

Os trabalhos de remoção de estéril serão realizados pela pá-carregadeira 962C. O material removido deverá ser carregado em caminhões utilizando-se pá-carregadeira e transportado até o depósito de rejeito.

4.1.5 Construção da praça de trabalho

Para a lavra da jazida é necessário que se construa uma praça de trabalho, constituindo-se de uma área terraplenada, aproximadamente plana e interligada à frente de lavra que se pretende abrir.

As dimensões da praça serão feitas de acordo com a topografia local, permitindo aos equipamentos de grande porte, como carregadeiras, tratores, caminhões, etc., efetuarem suas manobras de forma fácil, rápida e segura. O espaço disponível também deverá ser suficiente para o armazenamento dos blocos até a remoção destes para o pátio de embarque, onde ficarão até o transporte final.

4.1.6 Pátio de depósito e embarque de blocos

Constitui-se esta obra de um local próximo à frente de lavra, previamente terraplenado, compactado e com sistema de drenagem em todo o perímetro da área, onde serão armazenados os blocos extraídos da lavra até o transporte final desse material para o mercado consumidor.

Este depósito será locado próximo à estrada principal de acesso, em área de topografia plana, passível de ser atingida pelos veículos de transporte e cujas condições de trânsito sejam seguras. De preferência, será locada o mais perto possível da frente de lavra para minimizar os custos e tempos de manobras dos equipamentos encarregados de transportarem os blocos da praça até o embarcadouro.

4.1.7 Drenagem da pedreira

Antecede ou sucede ao decapeamento da jazida e tem por finalidade desviar as águas pluviais das frentes de trabalho, edificações, vias de acesso e quaisquer outros serviços envolvendo corte/aterro, com remoção, transporte e deposição de solo e/ou estéril.

Este sistema de drenagem deverá ser mantido durante toda a vida útil da pedreira e sofrerá correções, quando se observar a ineficiência da condução das águas nos períodos chuvosos, ou mesmo, mudanças na direção de avanço da frente.

4.1.8 Edificações

São aquelas obras a serem construídas não só com a finalidade de apoio operacional, mas também administrativo e conforto dos operários envolvidos nas operações mineiras.

Basicamente, deverá ser edificada uma pequena construção, dividida em dois cômodos, sendo, um para o refeitório e outro para o almoxarifado/escritório. Esta obra será edificada na mesma área terraplenada para se evitar cortes desnecessários no terreno, facilidades de acesso e custo com a construção.

O refeitório terá área mínima construída de 5 x 8m e será equipado com filtro, mesa grande e bancos de madeira para as edificações e um fogão tradicional.

Ao lado e conjugado ao refeitório, será edificado o almoxarifado que também terá a finalidade de escritório. A área construída será de 5 x 5 m onde serão armazenados insumos, ferramentas manuais, equipamentos de proteção individual e materiais diversos. Um conjunto de prateleiras deverá ser adaptado nas paredes do cômodo. Como condição de higiene e conforto dos operários, será implantado um sanitário na lateral do refeitório e equipado com vaso, lavatório e espaço para instalação de um chuveiro. A figura 57 mostra a maquete eletrônica das novas instalações administrativa da pedreira Sítio Jaú em Sertânia–PE.



Figura 57 – Futuras instalações administrativas da pedreira Sítio Jaú, Sertânia - PE.

4.1.9 Depósitos de explosivos

De acordo com o método de lavra estabelecido, o desmonte de material será feito com a utilização de fio diamantado para execução dos cortes primários e perfuração e argamassa expansiva para os cortes posteriores de subdivisão do maciço, através da utilização de bancadas altas. O uso de explosivos de baixa densidade, como aqueles à base de nitratos, será apenas para atividades de limpeza da frente, que têm a função de remover capas e rejeitos. Os acessórios mais empregados serão o estopim, cordel detonante, espoleta simples e retardo.

Os explosivos e acessórios deverão ser armazenados em depósitos especiais na pedreira, que serão locados no campo conforme padrões construtivos e distâncias de segurança ditadas pelo Ministério do Exército conforme normas NB – 19 e R – 105 em função da quantidade e tipos de explosivos que serão empregados. Os depósitos deverão estar suficientemente afastados da frente de lavra, estradas de acesso, divisas de propriedades, caminhos vicinais, habitações e demais obras implantadas na pedreira.

4.1.10 Sistemas de captação e abastecimento de água

A água imprescindível ao processo produtivo deverá ser captada através de caminhões “reservatórios”. Também será usada como água potável para o consumo humano.

Para implantação desse sistema, faz-se necessário a instalação de uma caixa d’água com capacidade de 5.000 litros a ser locada próximo das frentes de trabalho em cotas mais elevadas quanto possível.

4.2 Lavra

4.2.1 Método de Lavra – Maciço

O desmonte consiste no processo de se extrair o material “in situ” sem ocasionar o fraturamento da rocha, de modo a liberar o maior volume rochoso do seu jazimento, para posteriores subdivisões do bloco primário em blocos com dimensões comerciais.

A lavra deverá ser iniciada nas partes mais baixas dos locais onde se concentram as frentes de lavra antigas da pedreira, a fim de se processar uma limpeza mais facilitada e aproveitar a gravidade para arrastar os blocos destacados.

Escolhido o local a ser trabalhado, procede-se a liberação total do mesmo, com a remoção da cobertura de solo e liberação do volume primário através da execução dos cortes laterais, levante e do fundo com utilização do equipamento de fio diamantado.

Depois de devidamente liberado, o volume primário do maciço é submetido a uma furação vertical, utilizando-se uma perfuratriz com hastes de 7/8” acionada pôr compressor de ar comprimido alimentado a óleo diesel. A profundidade do furo e a sua localização dependem da altura do maciço e será normalmente de 6,5 m.

Executada a furação, passa-se a aplicação de argamassa expansiva, que consiste em introduzir uma pasta líquida a base de cal virgem e água e que objetiva promover o corte da prancha destacando-se a mesma do volume primário.

O método de lavra utilizado para o maciço será a céu aberto, por tombamento, em fatias verticais (pranchas) de aproximadamente 6,5 m de altura, 2 m de largura e comprimento de 20 m, correspondente a um volume individual de 260 m³. Considerando uma recuperação de blocos comerciais de aproximadamente 20% do volume destacado na prancha tem-se uma necessidade de tombamento de cerca de 6 pranchas por mês.

O material não recuperável será destinado a pilha de rejeito com possibilidade de ser utilizado como agregado na construção civil ou na confecção de chapas pré-moldadas conforme sugestão para novos trabalhos no final da dissertação.

Após a preparação da frente de lavra, inicia-se a extração com a furação e retalhamento das pranchas derrubadas em blocos nas dimensões desejadas empregando-se cunhas.

4.2.2 Técnicas de corte e desmonte

Uma vez no chão, as pranchas tombadas serão esquadrejadas em blocos de dimensões próximas de 1,6 x 1,8 x 3,2 m, que representa cerca de 9,2 m³ ou 24 toneladas, já descontadas as perdas com os cortes e canteiramento das faces irregulares, constituindo-se dimensões métricas finais dos blocos acabados e prontos para o transporte e beneficiamento em teares convencionais.

Nesta fase, o bloco é inspecionado para se detectar imperfeições como fraturas, faixas espessas de minerais máficos ou félsicos, inclusões indesejáveis e/ou outros defeitos. Seleccionadas as partes sadias, estas serão, por meio de esquadro, subdivididas em unidades menores e dentro dos limites dos blocos comerciais.

4.2.3 Escala de produção

A produção inicial será de **312 m³/mês**, compatível ao porte do empreendimento. Foi estabelecida a partir do dimensionamento das máquinas, equipamentos e mão-de-obra, das condições naturais da jazida e comparativamente com outras pedreiras existentes na região. Estima-se que a produção ficará distribuída em:

- Mercado Externo: **150 m³**
- Mercado Interno: **162 m³**

O material útil desmontado será responsável por 48% de blocos de primeira qualidade e destinados à exportação, sendo o restante, material com pequenas imperfeições e classificados como material de segunda qualidade, destinados ao mercado interno.

4.2.4 Regime operacional

A pedreira funcionará segundo o regime de trabalho: 1 (um) turno diário, 5 (cinco) dias por semana e 254 (duzentos e cinquenta e quatro) dias por ano, já deduzidos os sábados, domingos e feriados mais importantes.

Cada turno terá duração de 9 (nove) horas, exceto nas sextas que será de 8 (oito) horas, iniciando-se as atividades às 7h e terminando às 17h15min e 16h15min, respectivamente. Assim, temos uma jornada de trabalho de 44 h semanais, de acordo com a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). As paradas programadas correspondem a 1 h para o almoço e 15 minutos para o lanche da tarde.

4.2.5 Seleção da frente inicial de lavra

Na definição do local mais apropriado para a abertura da frente de lavra foram considerados diversos parâmetros, tais como: reserva útil de granito, qualidade,

disponibilidade de acessos e área suficiente para a construção da praça de trabalho e demais obras a serem edificadas.

Buscou-se com a definição da frente de lavra otimizar o processo extrativo em função do tempo e economicidade do investimento pré-operacional. Devido a presença de frentes de lavra antigas formadas na aplicação do método de lavra por bancadas baixas, será necessário a adaptação das mesmas para operar-se com bancadas altas. A frente de lavra selecionada para início de operações situa-se na porção Leste (L) da área, onde existe uma frente de lavra com 3 bancadas baixas de cerca de 3 m de altura, que serão transformadas em bancadas com 6 m de altura, devido a relativa facilidade de extração, além de caracterizar material de ótima qualidade.

4.2.6 Preparação da praça

Definido o alvo inicial da extração, será procedida à preparação da praça de trabalho (já existente) e a liberação das pranchas após o primeiro corte ser executado no maciço. Como existem na área, bancadas e praça oriundos de exploração anterior, será necessária uma reordenação da praça de trabalho existente adaptando-a a nova metodologia de lavra a ser aplicada na pedreira.

4.2.7 Divisão vertical do bloco primário de lavra

Após a liberação do bloco primário de lavra, através de fio diamantado passa-se à sua divisão vertical em fatias menores, por meio de perfuração coplanar e vertical, onde os furos estarão alinhados em fileiras eqüidistantes e espaçados entre si de 5 vezes o diâmetro de 11 cm. Estas fileiras serão locadas paralelamente a uma das faces livres do bloco primário e perpendicular ao sentido de tombamento das subdivisões do mesmo.

Há dois sentidos ortogonais entre si, possíveis para o tombamento das fatias. A escolha de um deles dependerá de orientação mineral e espaço mais apropriado na

praça de trabalho para a posterior subdivisão do bloco tombado, sem atrapalhar a continuidade dos trabalhos de lavra.

Os furos serão executados por perfuratrizes pneumáticas manuais em furos eqüidistantes de 30 cm. Concluída a perfuração de um alinhamento, passa-se ao seguinte, enquanto isso, a prancha perfurada e tombada anteriormente será subdividida em blocos com dimensões comerciais, repetindo-se o ciclo até o esgotamento total do bloco primário de lavra.

4.2.8 Carregamento e transporte dos blocos

A operação de carregamento é promovida pelo “pau-de-carga” que consiste de um moitão fixado na extremidade de um poste de madeira e que tem a função de elevar o bloco a uma altura suficiente para o carregamento do caminhão que manobra no pátio e estaciona abaixo do bloco suspenso. O bloco é, então, colocado na carroceria do caminhão e calçado para evitar deslocamentos.

4.2.9 Armazenamento de blocos

Depois de serem destacados e individualizados, os blocos serão arrastados por guinchos e, com auxílio de macacos hidráulicos, serão tombados na praça principal.

Preparados os blocos, procede-se a numeração dos mesmos e seleção do material a ser exportado. Os blocos preparados para a comercialização são, então, empilhados na praça principal utilizando-se o “pau-de-carga”.

4.2.10 Deposição de estéril/ rejeitos

O depósito deverá ser locado no campo o mais próximo possível da frente, abaixo da praça de trabalho.

A área escolhida deverá ser pouco inclinada com espaço suficiente para implantação da obra. Não deverá apresentar cursos de drenagens naturais, terrenos instáveis, alagadiços ou sujeitos a inundações, área com solos férteis ou mesmo vegetação nativa exuberante, compreendendo simplesmente, um local coberto por vegetação rasteira, tipo gramíneas.

O rejeito a ser depositado deverá seguir procedimentos que visam diminuição do tamanho dos fragmentos para melhor estabilização da pilha e evitar grandes vãos em seu interior. Esses fragmentos de rocha deverão ser transportados por caminhão, da praça de trabalho até o depósito no pé da encosta.

4.2.11 Seleção dos equipamentos de lavra

A escolha dos equipamentos encarregados de executarem a lavra será feita em função de cada trabalho a ser realizado no desmonte, carregamento e transporte do material útil e estéril/rejeito. Os mesmos foram dimensionados em função da escala de produção projetada, método de lavra empregado, reserva lavrável, características dos materiais lavrados, rendimentos dos equipamentos e fatores corretivos relativos às operações mineiras. A seguir, encontram-se relacionados os principais equipamentos que serão utilizados nas operações mineiras:

4.2.12 Fio diamantado

Será utilizado um equipamento de fio diamantado modelo RK 4000 da empresa Rochaz Ltda, que será responsável pela execução dos cortes laterais e horizontal para destacamento do volume primário do maciço rochoso, conforme anexo 4.

Para início da operação de corte parte-se de um degrau de bancada. Na base do degrau faz-se um furo na horizontal, no nível da bancada inferior, com perfuratriz de 90 mm de diâmetro. No alto do degrau, no nível da bancada superior executa-se furo vertical, que irá encontrar o furo anterior. Passa-se então o cabo diamantado pelos dois furos, fazendo uma alça que é esticada e acionada por uma roldana motriz no nível da bancada inferior.

4.2.13 Perfuratriz fundo furo

Será utilizada uma perfuratriz, fundo de furo com perfuratriz tipo DTH (“down the hole”) modelo RZ 100 da empresa Rochaz Ltda, que será responsável pela execução dos furos necessários ao enlace da rocha e posicionamento do cabo do equipamento de fio diamantado.

4.2.14 Perfuratrizes manuais leves

Serão utilizadas perfuratrizes manuais Atlas Copco, modelo RH 658SL, que atendem perfeitamente a necessidade do empreendimento.

São equipamentos de perfuração destinados a executarem furos para os cortes com argamassa expansiva, divisão vertical do bloco primário de lavra, divisão secundária dos blocos tombados e, também, se prestarão ao desmonte do rejeito, constituído da capa alterada da rocha e partes do maciço intercaladas ao material útil e desqualificadas para aproveitamento em blocos.

Os dados obtidos em pedreiras similares demonstram que a taxa de penetração das brocas, na divisão vertical da rocha, é de 0,2 m/min, gastando-se aproximadamente 55 minutos para cada 6 m perfurados, consideradas as paradas para a troca de brocas e nivelamento da direção dos furos.

Serão necessárias 5 perfuratrizes para o desmonte da rocha, mais duas unidades que deverão substituir àquelas em manutenção, totalizando-se, então, 7 perfuratrizes modelo RH 658SL, Atlas Copco.

4.2.15 Afiador de brocas

Um afiador de brocas na frente de lavra reduz os custos, oferecendo maiores índices de perfuração e torna as operações mais econômicas devido à redução das perdas. O equipamento utilizado será um afiador pneumático de pastilha da marca Holf, de alta potência e baixo consumo de ar comprimido.

4.2.16 Compressor portátil

O compressor é de vital importância para a realização de trabalhos mineiros. Seu dimensionamento deve ser tal que sua descarga livre efetiva exceda ao volume de ar requerido pelas perfuratrizes. O compressor utilizado será o XAH360 da marca Atlas Copco.

4.2.17 Pá-carregadeira

A pá-carregadeira utilizada será a 962G da Caterpillar equipamento empregado largamente em lavras similares. Atende às necessidades de carga dos blocos e rejeito/estéril. Poderá, também, auxiliar ou mesmo executar obras na pedreira envolvendo movimentação de solo ou outros serviços. Este equipamento é escolhido mais em função da sua potência que de volume, uma vez que também se presta ao tombamento de blocos na praça de trabalho ou no pátio de depósito e embarque.

4.2.18 Veículos para pequenos serviços

O veículo adequado a necessidade do empreendimento é o caminhão Mercedes 608 com a adaptação de uma cabine na parte traseira para transporte de 8 pessoas. Este veículo se prestará ao transporte de pessoal e à realização de pequenos serviços no apoio à lavra.

4.3 Recursos humanos

O objetivo social de um empreendimento mineiro é promover o progresso na região de sua implementação, com o máximo de aproveitamento da mão-de-obra local, como meio para elevar o padrão de vida dos habitantes da área de influência, sem que com isto comprometa o objetivo econômico do empreendimento. Deste modo, evidencia-se a necessidade de levantar as potencialidades regionais de mão-de-obra, em número e natureza, e prover meios para adequá-las às atividades mineiras do empreendimento a ser implantado. Como consequência, há necessidade de se criar cursos de treinamento específico, com intensidade e antecedência ao início das operações, segundo técnicas e prazos previstos.

Os graus de complexidade dos equipamentos e técnicas extrativas devem ser compatíveis à capacidade da mão-de-obra prevista para às operações de lavra.

4.4 Armazenamento e uso de pólvora e acessórios

A pólvora negra granular, explosivo deflagrante do tipo lento, possuindo, portanto, lenta formação gases e força expansiva, provocando dessa forma cortes uniformes nos maciços. Comercialmente, a pólvora negra é encontrada no mercado sob a forma de pó escuro ou sob pelotas, ambas contendo nitrato de potássio (salitre), enxofre e carvão.

Os acessórios mais usados são o estopim, espoletas simples, retardos e cordel detonante de várias especificações (NP 3, NP 5 e NP 10).

Os inflamáveis, no caso, óleo diesel e graxa, deverão ser armazenados em locais apropriados, fechados e com manipulação restrita ao pessoal que utiliza. Se a empresa desejar armazenar maiores quantidades de óleo diesel na pedreira deverá usar tanques enterrados, com suspiro bem dimensionado e protegidos por pára-raios.

Os depósitos de explosivos deverão ser edificados conforme padrões construtivos e medidas de segurança ditadas pelo Ministério do Exército, em função da quantidade e tipos de explosivos que serão empregados no desmonte.

4.5 Suprimento de Energia

Inicialmente, não se cogita utilizar energia elétrica na lavra, em virtude das possíveis frentes de lavra serem consideradas sazonais, e, desta forma, a imobilização dos equipamentos de extração, sobretudo dos compressores no local não seria conveniente. Os compressores e guinchos a serem utilizados na lavra serão dotados de motores a diesel, com capacidade, respectivamente, para 350 pcm e 15 HP.

4.6 Avaliação Econômica da Lavra

4.6.1 Introdução

Devido ao fato da jazida se localizar relativamente próxima ao porto de SUAPE, Cabo de Santo Agostinho/PE, cerca de 250 km, o escoamento da produção é favorecido. Por este e outros motivos, tal como a facilidade de acesso para os compradores, o escoamento da produção será feito pelo Porto de SUAPE.

Através da avaliação de reservas lavráveis mensuradas e considerando também que será inicialmente retomada apenas uma frente de lavra, com uma

produção anual estimada em **3.744 m³**, foram considerados somente os custos de produção anuais para operação dessa frente de lavra.

Fez-se um estudo levantando-se custos e investimentos mais importantes relativos à implantação do empreendimento, como o desenvolvimento da lavra, custos com a aquisição de equipamentos para o setor de mineração, capital de giro, custos anuais de produção, considerando-se as parcelas direta e indireta incidentes, receitas anuais resultantes da venda do produto, imposto de renda a ser pago ao longo da exploração, participação do superficiário do solo, etc.

Todos os dados obtidos foram analisados para se determinar a viabilidade econômica do empreendimento, sem perder de vista os benefícios sociais a serem obtidos e os compromissos com a preservação do meio ambiente.

Os itens a seguir indicam a metodologia empregada no estudo econômico para a implantação do empreendimento e determinação de sua viabilidade econômica preliminar.

4.6.2 Investimento Inicial

Tabela 04 – Investimento capital em equipamento

EQUIPAMENTOS	
Descrição	Custo (R\$)
01 pá-carregadeira CAT 962C (usada)	150.000,00
01 compressor 350 pcm (usado)	30.000,00
01 fio diamantado RK 4000 (usado)	50.000,00
01 perfuratriz fundo furo (usada)	15.000,00
07 perfuratrizes manuais ATLAS COPCO RH658-51	11.200,00
01 pau de carga	10.000,00
01 afiador de brocas LSD-01 ATLAS COPCO	5.000,00
03 jogos de brocas \varnothing 7/8"	12.000,00
04 lubrificadores de linha	2.000,00
01 Caminhão Mercedes 608 (usado)	25.000,00
Móveis e utensílios	3.000,00
01 ferraria completa e ferramentas (cunhas, cabos de aço, rodas de manobra)	5.000,00
Total (R\$)	318.200,00

Tabela 05 – Investimentos operacionais

INVESTIMENTOS PRÉ-OPERACIONAIS	
Discriminação	Custo (R\$)
Construção de 03 paiol de explosivos	1.500,00
Construção da base do guincho e do pau de carga	2.500,00
01 Galpão de madeira (pré-moldado)	2.000,00
01 Galpão da alvenaria	4.500,00
Total (R\$)	10.500,00

OBS: Será considerado também como investimento pré-operacional, o aluguel de um trator na recomposição dos acessos e preparação para a retomada da frente de lavra. Tal empreitada será realizada com previsão de 10 dias e um custo de R\$ 3.000,00.

Tabela 06 – Investimento inicial

Obra	Investimento Pré-operacional (R\$)	Valor Residual	Tempo (anos)	Amortização Anual (R\$)	Amortização Mensal (R\$)
Civil	10.500,00	1.000,00	10	950,00	79,17

Investimento Inicial = Equipamentos + Investimentos Pré-operacionais = 318.200,00 + 10.500,00 + 3.000,00

Investimento Inicial = R\$ 331.700,00

4.6.3 Preço médio de vendas

O preço de venda é variável sendo função da qualidade do bloco extraído e sua destinação para mercado interno ou externo.

Estimou-se para efeitos de desenvolvimento do fluxo de caixa e baseado no preço de venda de materiais semelhantes no Nordeste, os preços médios abaixo:

- Mercado Externo: **US\$ 600,00/m³**
- Mercado Interno: **R\$ 600,00/m³**

OBS: O preço do mercado interno é FOB jazida e o preço de mercado externo é FOB porto de SUAPE.

4.6.4 Receita Estimada

O faturamento médio mensal previsto pressupõe a comercialização de 312 m³ por mês, considerando-se a distribuição para os mercados interno e externo.

Sendo assim, teremos:

Faturamento Mensal = Produção Mensal x Preço Médio

Produção Prevista (Mercado Externo) = 150 m³/mês

Preço Médio = US\$ 600,00

Valor do dólar = R\$ 1,77* (cotação do dia 09/01/08)

(M.E) Faturamento Mensal = 150 m³/mês x US\$ 600,00 x 1,77 R\$/US\$

Faturamento Mensal = R\$ 159.300,00

Produção Prevista (Mercado Interno) = 162 m³/mês

Preço Médio = R\$ 600,00

(M.I) Faturamento Mensal = 162 m³/mês x R\$ 600,00 = R\$ 97.200,00

Faturamento Mensal Total = Faturamento Mensal (MI) + Faturamento Mensal (ME)

Faturamento Mensal = R\$ 97.200,00 (MI) + R\$ 159.300,00 (ME) = R\$ 256.500,00

Faturamento Mensal Total = R\$ 256.500,00

4.6.5 Custos

A matriz de custo mensal encontra-se dimensionada a partir dos elementos de custo abaixo discriminados:

- a) Mão-de-obra
- b) Insumos
- c) Manutenção
- d) Transporte
- e) Depreciação
- f) Despesas Financeiras
- g) Despesas Comerciais
- h) Despesas Tributárias e Indenizatórias
- i) Despesas Administrativas
- j) Eventuais

4.6.6 Mão-de-obra

Tabela 07 Quadro de mão-de-obra.

QUADRO DE MÃO-DE-OBRA				
Discriminação	Qtde.	Salário Mensal (R\$)	Encargos Sociais (R\$)	Total Mensal (R\$)
Engenheiro de Minas	01	3.000,00	1.800,00	4.800,00
Encarregado de Pedreira	01	2.000,00	1.200,00	3.200,00
Operador de pá-carregadeira	01	1.200,00	720,00	1.920,00
Operador de fio diamantado	01	1.500,00	900,00	2.400,00
Marteleiros	05	4.500,00	2.700,00	7.200,00
Canteirador (Blaster)	01	600,00	360,00	960,00
Ajudantes	03	2.400,00	720,00	3.120,00
TOTAL (R\$)				23.600,00

4.6.7 Insumos

Aqui foram considerados os insumos básicos utilizados no processo produtivo de uma jazida de granito, a saber: argamassa expansiva, explosivos (pólvora, estopim, espoletas e cordel); óleos combustíveis e lubrificantes, graxas, brocas de perfuração e ferramentas manuais.

A estimativa destes custos foi obtida a partir dos índices técnicos de consumo dos equipamentos, comparados a previsão de horas trabalháveis mensalmente, e também pela comparação com outras jazidas em operação.

A tabela 08 apresenta os insumos utilizados:

Tabela 08 - Insumos.

INSUMOS UTILIZADOS		
Insumo	Consumo/mês	Custo/mês (R\$)
Óleo Diesel	7.000 litros	11.620,00
Óleo Lubrificante	240 litros	1.104,00
Pólvora	10 kg	100,00
Cone bites	40 unidades	2.000,00
Roda de Manobra	04 pares	400,00
Argamassa expansiva	3.000 kg	9.600,00
Cunhas	20 pares	800,00
Graxa	40 kg	200,00
Demais	-----	1.000,00
TOTAL (R\$)		26.824,00

4.6.8 Manutenção

O custo anual de manutenção foi estimado em 5% do valor de aquisição dos equipamentos. O custo mensal de manutenção é obtido dividindo-se o valor estimado anualmente por 12, como apresentado na tabela abaixo:

Tabela 09 – Manutenção

MANUTENÇÃO		
Equipamentos	Custo aquisição	Custo/mês (R\$)
Pá-Carregadeira	150.000,00	625,00
Compressor	30.000,00	125,00
Fio diamantado	50.000,00	210,00
Perfuratriz fundo furo	15.000,00	65,00
Pau de Carga	10.000,00	45,00
Perfuratrizes manuais (05)	11.200,00	50,00
Afiador de Brocas	----	40,00
Veículos	----	300,00
TOTAL		R\$ 1.460,00

4.6.9 Transporte

O transporte a ser considerado é o da jazida até o Porto de SUAPE, sendo atualmente orçado em torno de R\$ 60,00/m³, e será agregado ao custo apenas do material exportável, já que o material para o mercado interno é vendido a preço FOB mina.

$$\text{Frete mensal} = \text{R\$ } 60,00 \times 200 \text{ m}^3 = \text{R\$ } 12.000,00$$

4.6.10 Depreciação

Os equipamentos são depreciados para a vida útil do empreendimento, definida em 20 anos, conforme quadro abaixo:

Tabela 10- Depreciação.

Equipamento	Investimento Inicial (R\$)	Valor Residual (R\$)	Tempo (anos)	Depreciação Anual (R\$)	Depreciação Mensal (R\$)
Pá-carregadeira	150.000,00	15.000,00	20	6.750,00	562,50
Compressor	30.000,00	3.000,00	20	1.350,00	112,50
Fio diamantado	50.000,00	5.000,00	20	2.250,00	187,50
Perfuratriz fundo furo	15.000,00	1.500,00	20	675,00	56,25
Perfuratrizes	11.200,00	1.200,00	10	1.000,00	83,33
Afiador de brocas	5.000,00	500,00	10	450,00	37,50
Pau de carga	10.000,00	---	20	500,00	41,67
Móveis e utensílios	3.000,00	---	20	150,00	12,50
Veículos usados	25.000,00	2.500,00	20	1.125,00	93,75
Ferraria completa e ferramentas manuais	5.000,00	1.000,00	10	400,00	33,33
Total (R\$)	304.200,00	29.700,00	---	14.650,00	1.220,83

4.6.11 Despesas Financeiras

Taxa de juros sobre capital na base de 25% a.a.

Capital de Giro:	R\$ 200.000,00
Investimentos não depreciables:	R\$ 14.000,00
Total:	R\$ 214.000,00

- Juros/mês = R\$ 214.000,00 x 2,08%

- Juros/mês = R\$ 4.451,20

4.6.12 Despesas Comerciais

Comissão sobre vendas, viagens, telefonemas, etc.

Estimadas em R\$ 4.000,00

4.6.13 Despesas Tributárias e Indenizatórias

SIMPLES (5% do faturamento bruto):	R\$ 19.620,00
Imposto de Renda Lucro Presumido (18,08% do faturamento bruto):	R\$ 70.945,92
C.F.E.M. (2% do faturamento líquido):	R\$ 4.605,20
Participação na lavra (50% do C.F.E.M.):	R\$ 2.302,60

TOTAL = R\$ 97.473,72

4.6.14 Despesas Administrativas

Escritório, material, notas, despachantes, etc.

Estimadas em R\$ 2.000,00

Eventuais

Estimadas em R\$ 5.000,00

4.6.15 Resumo do Custo Total Mensal

Tabela 11 – Resumo do Custo Total Mensal.

CUSTO TOTAL MENSAL	
Discriminação	Custo/mês (R\$)
Mão-de-obra	23.600,00
Insumos	26.624,00
Manutenção	1.460,00
Transporte	12.000,00
Depreciação + Amortização	1.220,83
Despesas Financeiras	4.451,20
Despesas Comerciais	4.000,00
Despesas Tributárias e Indenizatórias	97.473,92
Despesas Administrativas	2.000,00
Eventuais	5.000,00
TOTAL (R\$)	177.829,95

Obs: Capital de giro fica estimado em torno de R\$ 200.000,00

O custo mensal de produção de m³ de granito obedece a seguinte relação:

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{Custo mensal}}{\text{Produção mensal}} = \frac{\text{R\$ } 177.829,95}{312 \text{ m}^3}$$

$$\text{Custo Unitário} = \text{R\$ } 569,97/\text{m}^3$$

4.6.16 Receitas

As receitas ou faturamento já foram anteriormente definidas como sendo da ordem de R\$ 256.500,00.

$$\text{Receita Unitária} = \frac{\text{R\$ } 256.500,00}{312 \text{ m}^3}$$

$$\text{Receita Unitária} = \text{R\$ } 822,12/\text{m}^3$$

Sendo assim, verificamos que o custo unitário corresponde cerca de 69% do preço unitário de venda dos blocos.

4.6.17 Lucros

Os lucros totais são obtidos pela diferença entre as respectivas funções de Receita e Custo.

$$\text{Lucro Mensal} = \text{Receita Mensal} - \text{Custo Mensal}$$

$$\text{Lucro Mensal} = \text{R\$ } 256.500,00 - \text{R\$ } 177.829,85$$

$$\text{Lucro Mensal} = \text{R\$ } 78.670,05$$

$$\text{Lucro Anual} = \text{Lucro Mensal} \times 12$$

$$\text{Lucro Anual} = \text{R\$ } 78.670,05 \times 12$$

$$\text{Lucro Anual} = \text{R\$ } 944.040,60$$

4.7 Conclusão da Análise Econômica Preliminar

Os dados definem que o empreendimento mineiro é viável, pois, apresenta um lucro mensal satisfatório e ainda:

a) O tempo de amortização (Payback) do empreendimento é pequeno, vejamos:

$$T_a = \frac{\text{InvestimentoInicial} + \text{CapitaldeGiro}}{\text{LucroMensal}}$$

$$T_a = \frac{318.200,00 + 200.000,00}{78.670,05} = \frac{518.200,00}{78.670,05} = 6,58$$

Tempo de Amortização (T.a.) = 6,58 meses

A função Lucro Total nulo, definida como aquela em que a receita e custo se igualam, é assim expressa:

$$\text{LucroTotal} = \text{ReceitaUnitária} \times \text{Quantidade}(Q) - \text{CustoTotal}$$

Se o Lucro Total = 0, então

$$\text{Quantidade}(q) = \frac{\text{CustoTotal}}{\text{ReceitaUnitária}} = \frac{177.829,95}{822,12} = 216,30$$

Quantidade (q) = 216,30 m³/mês

Sendo a produção mensal prevista de **312 m³/mês**, verificamos que a produção mínima (Q) corresponde cerca de **69%** da produção prevista.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES FINAIS

A experiência em otimizar a lavra da pedreira de granito Vermelho Frevo no município de Sertânia – PE , usando os recursos da simulação virtual, mostrou-se válida, porque diante dos dados coletados em campo e o que já se foram publicados sobre o tema permitiu redimensionar o potencial mineral do maciço rochoso, levando-se em consideração os defeitos e falhas naturais.

A abertura de uma pedreira requer o conhecimento da metodologia empregada na exploração do minério. Na revisão bibliográfica métodos e técnicas de lavra e cortes foram inseridos para se ter uma macro-visão e definir melhor qual ou quais as técnicas que se adéqüe as atividades da pedreira do granito Vermelho Frevo, do Sítio Jaú.

O levantamento topográfico plani-altimétrico e de dados geológicos tiveram um papel bastante expressivo no modelamento do maciço rochoso. Através da computação gráfica e posteriormente na distribuição em blocos com dimensões comerciais da reserva geométrica pode-se: calcular a reserva total da pedreira, retirando-se do total de blocos da reserva mineral da jazida os blocos sem valor comercial e defeituosos.

O total de blocos calculados soma 54.004 blocos com aproximadamente 9,5 m³ de volume. Isto corresponde a 513.038 m³ ou 95,12% do volume total do maciço. Retirando-se deste volume, os blocos sem valor comercial, os blocos defeituosos e os blocos extraídos das frentes de lavra desativadas, tem-se um total de 40.056 blocos remanescentes na jazida para serem explorados e comercializados.

Dificuldades apareceram durante o desenvolvimento dos modelos em função dos softwares não serem apropriados para esse tipo de trabalho como já foi comentado nos parágrafos anteriores, principalmente nos modelos tridimensionais. Os arquivos ficaram grandes demais aumentando assim o tempo de processamento do computador para se obter a imagem renderizada, somente para visualização.

A situação real da cota foi definida em função do levantamento plani-altimétrico, do equipamento de posicionamento tipo GPS e do afloramento do maciço rochoso. Não foram executadas sondagens verticais para saber a real profundidade e continuidade de juntas e fraturas nos locais de cotas mais baixas.

Realizar o levantamento de campo obtendo informações sobre a topografia, corresponde as características geográficas e geológicas são de grande relevância quando se pretende abrir um empreendimento de mineração. O levantamento da geologia regional e local lhe proporciona uma ampla visão dos litotipos da região bem como um estudo local da pedra dos elementos condicionantes, que influenciaram na formação e afloramento do maciço rochoso tais como: textura, cor, fraturas diques e outros. As características geográficas como: clima, vegetação, hidrografia, relevo são elementos de total importância da região onde se localiza a jazida.

O modelo geológico estrutural mostra a real situação do maciço rochoso no aparecimento dos diques pegmatíticos, fraturas e outras falhas na área da pedra, as figuras 83 e 88 melhor exemplificam um dos objetivos específicos alcançado.

Em viabilidade econômica podemos concluir que as etapas para um excelente andamento do empreendimento no ramo de exploração de rocha ornamental desde: infra-estrutura, lavra, recursos humanos e viabilidade econômica da lavra para os cálculos relacionados ao preço de mercado de um bloco de rocha ornamental, maximiza a visão do funcionamento da pedra durante a vida útil do empreendimento.

As técnicas são aprimoradas no momento que o tempo avança. Os softwares são aperfeiçoados mesmo não sendo apropriados para determinados projetos, entretanto podemos adaptá-los para executar tal tarefa. Um levantamento de dados bem feito no campo e no que já foi publicado são elementos essenciais para alimentar a base de dados dos softwares de modelamento e se obter um resultado bem mais preciso no conhecimento geológico da jazida e cubagem dos recursos minerais.

Na medida em que os trabalhos são iniciados e a lavra avança novos dados são coletados do maciço rochoso possibilitando assim a atualização do modelo digital com o intuito de aumentar a recuperação e prolongamento da vida útil da pedreira.

Sugestões para a continuação do presente tema de pesquisa:

1. Inserir no modelo digital, principalmente no modelo tridimensional, uma linguagem de programação, cujo objetivo de minimizar o tamanho do arquivo de saída.

2. Incorporação de propriedades físicas e petrográficas.

3. Realização de sondagens verticais para determinação da continuidade em profundidade das descontinuidades e incorporação das mesmas no modelo digital.

Como sugestão para novos trabalhos na mesma linha de pesquisa recomenda-se:

1. Aproveitamento do material considerado como bota-fora (rejeito).

2. Fabricação de chapas pré-moldadas com o rejeito da pedreira na condição de se obter as características tecnológicas aproximadas a uma chapa natural.

3. Geração de um modelo digital para simulação de estudos de recuperação do meio ambiente no término das atividades da pedreira.

4. Utilização de uma metodologia e recursos de engenharia nas atividades de uma pedreira com o objetivo de minimizar os resíduos: poeira, efluentes líquidos, ruídos e equipamentos abandonados por não servirem mais para as atividades (sucatas).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A. e CARVALHO, D. – “*Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais*”. V. 3 Fortaleza, IEL/FIEC, 1996.
- AZEVEDO, R. C. – “*Aplicação de Realidade Virtual no Planejamento de Lavra*”. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo 2002.
- BARBOSA, E. G. – “*3D Studio Max 3.0, Modelagem, Materiais, Animação*”. Ed. Érica, São Paulo, 1999.
- CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) – “*Lavra de Rochas Ornamentais e de Revestimento*”. Painel Tecnologia de Lavra, Rio de Janeiro, Junho 2006.
- CICCU, R. – “*Curso de Lavra de Mármore e Granitos*”. Belo Horizonte – MG 1993
- COELHO, A A M. e VIDAL, F. W. H. – “*Métodos e Tecnologias de Lavra para a Melhoria da Qualidade e Produtividade dos Blocos de Granito no Ceará*”. IV° Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza, Ceará, 2003.
- COHN, D. S., Auto CAD – “*Guia Completo*”. v. 2, Berkeley Brasil Editora, Rio de Janeiro, 1993
- CONDEPE/FIDEM – “*Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco*”. Recife, Julho, 2007.
- COURRIER, L. W. –;”*Geological Appraisal of Dimension-stone Deposits*”. Washington, U. S. Govt. Print. Off.,. 1960
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – “*Diagnóstico do Município de Sertânia*”, Recife, Setembro, 2005.

- DUARTE, G. W. Método de lavra Determina a Eficácia do Redimento. Rochas de Qualidade, São Paulo, edição 138, 1998.
- FERNANDO, A C. MORAIS, J O. Propostas Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais, IV SRONE – 2003 – Fortaleza – CE/ Brasil.
- FILHO. J L R, SOUZA. J C, Relatórios de Andamentos dos Trabalhos, Engenharia e Desenvolvimento Regional, Caracterização de Rochas para Fins Ornamentais, Recife, Novembro, 2001.
- FRANK G, Tecnologias de Corte de Rochas Ornamentais, UFPE, Recife, 2006.
- FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J. E. S. Características Tecnológicas de Rochas Silicáticas Brasileiras de Revestimento. Rochas de Qualidade, São Paulo edição 128, 1996.
- GROSSI SAD, J.H. e VALENTE, J., “Considerações sobre sistemas de classificação de recursos e reservas”, ed. IBRAM, Belo Horizonte (MG), Brasil, 2000;
- GROSSI SAD, J.H. VALENTE, J., “Reservas e Recursos Minerais – Uma Revisão”, ed. IBRAM, Belo Horizonte (MG), Brasil, 1996;
- GROSSI SAD, J.H., “Fundamentos sobre a variabilidade dos depósitos minerais”, ed. DNPM/CPRM/GEOSOL, Brasília (DF), Brasil, 1986;
- GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T., Novo Dicionário Geológico Geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 652, 1997.
- IMM (Institute of Mining and Metallurgy) - “Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves (the REPORTING Code)”, Reino Unido, 2001.

- KALVELAGE. M R, Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Granito Casablanca, Dissertação de Mestrado, Capina Grande, PB, 2001.
- LAKATOS. E M, MARCONI. M A, Metodologia Científica, 2 ed, São Paulo: Atlas 1991, 249p.
- LAKATOS. E M, MARCONI. M A, Técnicas de Pesquisa, 4 ed, São Paulo: Atlas, 1999, 260p.
- MATTA, PAULO MAGNO da, Indústria de Rochas Ornamentais Rejeitos X Produção Limpa. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/BA, Salvador 2003.
- MENDES, V. A. Importância do Mapeamento Geológico de Detalhe na Pesquisa de Rochas Ornamentais, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/PE, Recife 2007.
- MINERALS COUNCIL “*Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves (the JORC Code)*”, Austrália, versão de september, 1999;
- MOURA. A CASAL, Rochas Ornamentais Portuguesas: Novos Rumos na Exploração de Granitos e Mármore, IGM, Instituto Geológico e Mineiro, Laboratório do IGM, Marmede de Infesta, Portugal, Avanços e Transparência Tecnológica em Rocha Ornamental, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2001.
- ONU (Organização das Nações Unidas) - “*Problems of Availability and Supply of Natural Resources – Medium-term and Long-term Projections of Reserves – Estimates of Reserves and Resources*”, do “Comitee on Natural Resources”, do “Economic and Social Council”, 1975;
- ONU (Organização das Nações Unidas) - “*United Nations International Classification for Reserves/Resources – Solid Fuels and Mineral Comodities*”, 1996;

- PÉREZ. BENJAMIN CALVO, Avanços e Transparência Tecnológica em Rocha Ornamental, Rio de Janeiro CETEM/MCT, 2001.
- PHILLIPS, R., "The Liability of Company Directors and Competent Persons for Resource/Reserve Disclosure", ed. "The Codes Forum", Sidney, Austrália, 2000;
- POINTE, P. R. LA, 1993. Simulation of joints for rock engineering. In Comprehensive Rock Engineering, Ed. J. A. Hudson,
- PRIMAVORI. P, Diamond Wire Technology, Guide to opening and Running an Ornamental Stone Quarry, Italy, 2004.
- RÉ. E R, MARQUES. M B, Planejamento de Lavra para Mineração de Minerais Pesados de Titâneo, Workshop Datamine, Rio de Janeiro, 2002.
- REGADAS, I. C. M. C., "Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no norte do Estado do Espírito Santo, Brasil". Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2006. 128 pp.
- REIS, R C., SOUZA, W T, Método de lavra de Rochas Ornamentais , Ouro Preto, v. 56, n. 3, 2003.
- REIS. E, Seleção de minerais industriais, Situação e Carências Tecnológicas, Agosto 2002.
- RENDU, J., "International Aspects of Resources and Reserves Reporting Standards", ed. "The Codes Forum", Sidney, Austrália, 2000;
- Rochas de Qualidade - Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais, Edição 156, novembro/dezembro de 2007, Editores Associados Ltda, São Paulo.

- SANTOS, B C D . Métodos de Lavra em Rochas Ornamentais, Trabalho de Graduação no Curso de Engenharia de Minas da UFPE – Recife 2006
- SNOWDEN, D.V., “Practical Interpretation of Resource Classification Guidelines”, ed. AIMM, Perth, Austrália, 1996;
- SOUZA. J C, Metodologia de lavra, Recife, 2005
- SOUZA. J C, Tipologias de lavra, Recife, 2003
- STELLIN JR, ^a & CARANASSIOS, A extração de Rochas Ornamentais. Brasil Mineral, edição 89, 1991.
- STELLIN, R., MASTRELLA, R., JR. A. S., TOMI, G. F. C., Avanços Tecnológicos no Planejamento de Lavra para Rochas Ornamentais, I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Salvador, Bahia, 2001.
- TOMI, G. F. C.; AZEVEDO, R. C., Planejamento e Seqüenciamento de Lavra, Congresso de Mina à céu aberto do IBRAM, Belo Horizonte, MG, 2000.
- VALENTE, J., “Geomatemática. Lições de Geoestatística”, vol. III, IV e V, ed. Fundação Gorceix, Ouro Preto (MG), Brasil, 1989.
- 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.
- WWW.SCIELO.BR,Revista Escola de Minas.
- WWW.WORLDSTONES.COM, Proper Mine Planning And Its Influence on Production, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1

Dados do levantamento de campo

Tabela 12 - Dados geológicos e estruturais do levantamento “in situ” na pedreira do granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú – Sertânia – PE.

Nº da Estação	Nº de Fraturas Medidas	Direções	Distâncias do ponto na scanline
P1 = 700163/9098563	2	05° AZ	2 m
	3	80°/270°Az	6 m
	2	45° Az (vertical)	21 m
	1	100° Az (vertical)	28 m
	5	40°/110° Az	30 m
P2 = 700213/9098560	3	50° Az (vertical)	2 m
	8	50°/330°Az	2 m
	2 diques	350°Az	8 m
	4	360°Az	18 m
	20	360°Az	19 m
	10	50°/350°Az	20 m
	8	50°/350°Az	27,5 m
	2	50°Az (360° Az)	28 m
	8	45°/130° Az (50° Az)	28 m
	6	80°/260° Az (350° Az)	33 m
	1	110° Az (vertical)	34 m
	3	270° Az (vertical)	47 m
P3 = 700263/9098564	4	50°/350° Az (50° Az)	7 m
	8	80°/260° Az (350° Az)	9 m
	1	40° Az (vertical)	24 m
	8	75°/100° Az	27 m
	6	320° Az (vertical)	33 m
	10	320° Az (50° Az)	38

P4 700302/9098562	=	4	75°/300° Az	1 m
		5	80°/210° Az (vertical)	6 m
		1 dique	20° Az	9 m
		5	60°/140° Az (vertical)	22 m
		7	80°/260° Az (350° Az)	22,5 m
		3	80°/110° Az	23 m
		12	80°/80° Az (350° Az)	23 m
		4	70°/140° Az (50° Az)	26 m
		9	70°/140° Az (50° Az)	26,5 m
		3	80°/260° Az (350° Az)	31 m
		4	80°/60° Az	32 m
		1 dique	300° Az	32 m
		4	80°/80° Az (350° Az)	35 m
		5	70° Az (vertical)	35 m
		3	75°/140° Az (50° Az)	36 m
10	80°/80° Az (350° Az)	40 m		
11	80°/320° Az (50° Az)	41 m		
P5 700347/9098571	=	1	270° Az (vertical)	2 m

P6 700376/9098585	=	3	80°/320° Az (50° Az)	3 m
		2	70° Az (vertical)	11 m
		4	350° Az (80°/260° Az)	13 m
		3	80°/80° Az (350° Az)	18 m
		2	80°/320° Az (50° Az)	18 m
		2	80°/140° Az	25 m
		3	75°/260° Az	26 m

Tabela 13 – Levantamento planialtimétrico da pedreira do Sítio Jaú, Sertânia-PE.

PONTO	X	Y	Z	Observação
F6	700376	9098585	691	Final scanline
P1	700399	9098598	686	acesso
P2	700369	9098619	682	acesso
P3	700343	9098630	683	base frente lavra 1
P4	700323	9098622	683	base norte frente lavra 1
P5	700312	9098638	680	base jazida
P6	700299	9098646	682	base jazida
P7	700276	9098640	684	base jazida
P8	700261	9098637	686	base jazida
P9	700255	9098622	689	base jazida
P10	700237	9098646	686	base jazida
P11	700299	9098639	688	início mata norte jazida
P12	700212	9098640	692	mata
P13	700214	9098645	686	mata
P14	700193	9098641	684	mata
P15	700183	9098636	690	início migmatito biotítico - mata
P16	700145	9098608	691	mata
P17	700133	9098598	689	mata
P18	700123	9098587	684	mata
P19	700122	9098575	689	mata
P20	700128	9098565	684	final mata norte jazida
P21	700141	9098567	693	subida jazida - scanline
P22	700147	9098566	699	jazida
P23	700191	9098559	703	jazida
P24	700219	9098550	704	jazida
P25	700242	9098547	704	jazida
P26	700245	9098561	705	ponto mais alto jazida
P27	700222	9098586	701	jazida
P28	700242	9098603	698	jazida
P29	700255	9098612	692	jazida
P30	700264	9098599	698	jazida
P31	700258	9098579	705	jazida
P32	700282	9098587	704	jazida
P34	700288	9098548	703	jazida
P35	700312	9098560	702	jazida
P36	700323	9098542	700	jazida
P37	700350	9098563	697	jazida
P38	700377	9098533	695	jazida
P39	700401	9098524	698	jazida
P40	700355	9098602	691	jazida
P41	700340	9098611	691	jazida
P42	700319	9098611	693	jazida

Tabela 14 - Coordenadas da bancada frente 2.

PONTO	X	Y	Z	Observação
B1	700305	9098597	695	bancada 695
B2	700332	9098588	695	bancada 696
B3	700319	9098574	697	bancada 697
B4	700298	9098581	698.5	bancada 698,5
B5	700297	9098577	698.5	bancada 698,6
B6	700316	9098575	699	bancada 699
B7	700313	9098570	699	bancada 700
B8	700316	9098570	698.5	bancada 698,5
B9	700309	9098561	697	bancada 697
B10	700295	9098565	695	bancada 695
B11	700297	9098571	697	bancada 697
B12	700294	9098572	697	bancada 697
LADOS DAS BANCADAS				
695	B1 - B10:	29 m	B1 - B2:	18 m
697	B2 - B3:	4,5 m	B3 - B8:	19 m
698,5	B3 - B4:	5,6 m	B4 - B5:	2,6 m
	B5 - B6:	5,9 m	B6 - B7:	14 m

Tabela 15 - Coordenadas da bancada frente 3.

PONTO	X	Y	Z	Observação
B1	700294	9098620	688	bancada 688
B2	700295	9098606	688	bancada 688
B3	700268	9098614	688	bancada 688
B4	700259	9098620	688	bancada 688
B5	700272	9098624	688	bancada 688
B6	700285	9098624	688	bancada 688
B7	700252	9098615	690	bancada 690
B8	700287	9098598	690	bancada 690
B9	700284	9098601	690	bancada 690
B10	700274	9098602	693	bancada 693
B11	700270	9098598	693	bancada 693
B12	700285	9098590	693	bancada 693
B13	700286	9098594	696	bancada 696
B14	700284	9098585	696	bancada 696
B15	700267	9098595	696	bancada 696
LADOS DAS BANCADAS				
688	B1 - B2:	23 m	B2 - B3:	23,3 m
690	B7 - B8:	36 m	B8 - B2:	5,1 m
693	B10 - B11:	5,5 m	B11 - B12:	16 m
696	B11 - B15:	5,5 m	B15 - B14:	16 m
688	B3 - B4:	10 m		
696	B12 - B9:	5 m	B12 - B13:	3,5 m

Tabela 16 - Coordenadas da bancada frente 4.

PONTO	X	Y	Z	Observação
B1	700305	9098611	690	vértice 1
B2	700305	9098608	690	altura bancada 2 m
B3	700302	9098610	690	altura bancada 2,5 m
B4	700300	9098603	690	altura bancada 3 m
B5	700290	9098608	690	altura bancada 3,5 m
B6	700294	9098617	690	altura bancada 3,5 m
LADOS DAS BANCADAS				
	690	B1 - B2:	4 m	
	690	B4 - B5:	10,5 m	
	690	B2 - B3:	2 m	
	690	B5 - B6:	12 m	
	690	B3 - B4:	6 m	
	690	B6 - B1:	14 m	

ANEXO 2

Cálculo do volume da jazida.

Resultados Estatísticos do aplicativo SURFER.

Grid Volume Computations

Mon Jun 16 15:14:04 2008

Upper Surface

Grid File Name: C:\Documents and Settings\Administrador\Meus documentos\Dissertação\Sítio Jaú\Topografia Sítio Jaú.grd
Grid Size: 44 rows x 100 columns

X Minimum: 700122
X Maximum: 700401
X Spacing: 2.8181818181818

Y Minimum: 9098524
Y Maximum: 9098646
Y Spacing: 2.8372093023256

Z Minimum: 678.40658703797
Z Maximum: 705.35300428139

Lower Surface

Level Surface defined by $Z = 0$

Volumes

Z Scale Factor: 1

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: 23657060.375937
Simpson's Rule: 23657112.759149
Simpson's 3/8 Rule: 23657109.838815

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 23657067.747402
Negative Volume [Fill]: 0
Net Volume [Cut-Fill]: 23657067.747402

Areas

Planar Areas

Positive Planar Area [Cut]:	34038
Negative Planar Area [Fill]:	0
Blanked Planar Area:	0
Total Planar Area:	34038

Surface Areas

Positive Surface Area [Cut]:	35048.446048565
Negative Surface Area [Fill]:	0

Volume total calculado no aplicativo AUTOCAD sem as frentes de lavra existentes.

Area = 34014.1400, Perimeter = 801.5616

Command:

Command:

Command: `_massprop`

Select objects: Specify opposite corner: 1 found

Select objects:

----- SOLIDS -----

Mass: 545734.5837

Volume: 545734.5837

Bounding box: X: 32.2949 -- 311.4047

Y: 17.5350 -- 139.7027

Z: 0.0000 -- 26.4790

Centroid: X: 178.3689

Y: 90.1487

Z: 9.5745

Moments of inertia: X: 5038673748.3490

Y: 20246604266.0818

Z: 25140559421.5509

Products of inertia: XY: 8644159565.1963

YZ: 501936561.2655

ZX: 939303651.3827

Radii of gyration: X: 96.0876

Y: 192.6129

Z: 214.6331

Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:

I: 546049005.1955 along [0.9984 -0.0572 0.0020]

J: 2839342429.7855 along [0.0570 0.9965 0.0620]

K: 3344634879.4089 along [-0.0055 -0.0618 0.9981]

Volume calculado no aplicativo AUTOCAD, com as duas frentes de lavra existentes.

Area = 34014.1400, Perimeter = 801.5616

Command:

Command:

Command: _open

Command:

Automatic save to C:\DOCUME~1\ADMINI~1\CONFIG~1\Temp\volume com lavra película_1_1_9614.sv\$...

Command:

Command:

Command: _massprop

Select objects: Specify opposite corner: 1 found

Select objects:

----- SOLIDS -----

Mass: 539302.3356

Volume: 539302.3356

Bounding box: X: 32.2949 -- 311.4047

Y: 17.5350 -- 139.7027

Z: 0.0000 -- 26.4790

Centroid: X: 178.8332

Y: 90.3653

Z: 9.4775

Moments of inertia: X: 5002059968.2450

Y: 20117416875.2816

Z: 24978904968.8227

Products of inertia: XY: 8580619545.3559

YZ: 493529214.1182

ZX: 923542045.1251

Radii of gyration: X: 96.3071

Y: 193.1390

Z: 215.2140

Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:

I: 541756117.9178 along [0.9983 -0.0589 0.0027]

J: 2827267693.6611 along [0.0586 0.9962 0.0642]

K: 3329511210.1575 along [-0.0065 -0.0639 0.9979]

ANEXO 3

Procedimentos para desenvolver os mapas topográficos nos aplicativos SUFER, AUTOCAD e 3D STUDIO MAX.

Procedimentos para desenvolver os mapas topográficos nos aplicativos SURFER, AUTOCAD e 3D STUDIO MAX.

A informática tem contribuído substancialmente na análise de dados, a cada dia novos programas específicos surgem possibilitando obter resultados mais rápidos e precisos. Os dados coletados em campo foram lançados e processados nos “softwares” SURFER[®], AUTOCAD[®] e 3D STUDIO MAX[®], para a elaboração do modelo geológico digital em duas dimensões e posteriormente em três dimensões.

As etapas seguintes descrevem os procedimentos utilizados na criação do mapa topográfico da pedra de granito Vermelho Frevo, localizado no Sítio Jaú no município de Sertânia, PE, usando o aplicativo SURFER versão 8.0.

Trabalhando com o aplicativo SURFER

O software SURFER tem como finalidade a interpolação de dados espaciais e a geração de modelo digital de terrenos, através de bancos de dados criados no próprio editor do software ou programas com a mesma finalidade de criação de tabelas tais como o Excel.

O processamento dos dados pelo software gera as curvas de nível em escala e a saída do arquivo pode ser bidimensional ou tridimensional. O resultado bidimensional é o mapa topográfico em vista superior que pode ser visualizado na figura 58. A saída tridimensional é um modelo de superfície sólida em 3D (DTM – “digital modeling terrain”), que pode ser visualizado na figura 59.

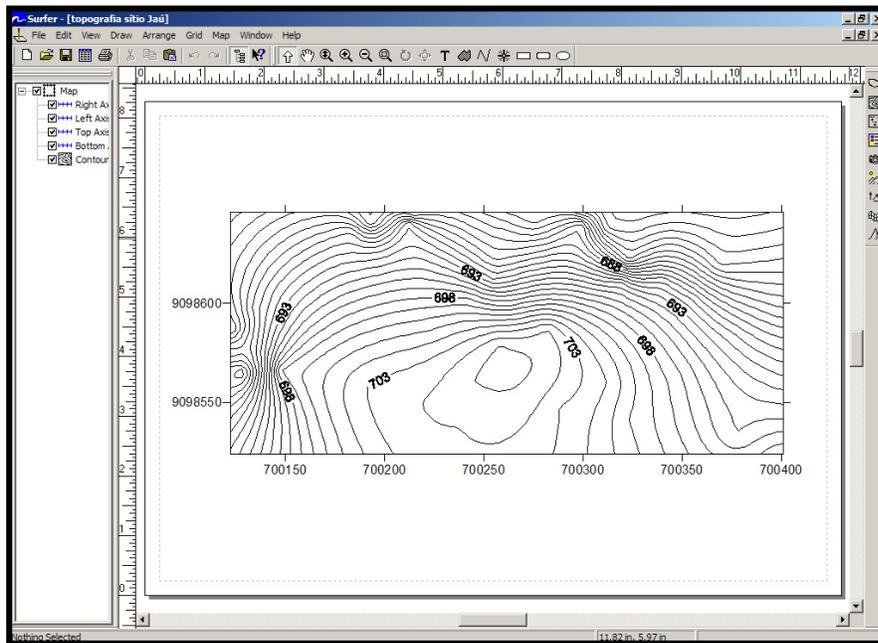


Figura 58 – Mapa topográfico bidimensional gerado no aplicativo SURFER 8.0.

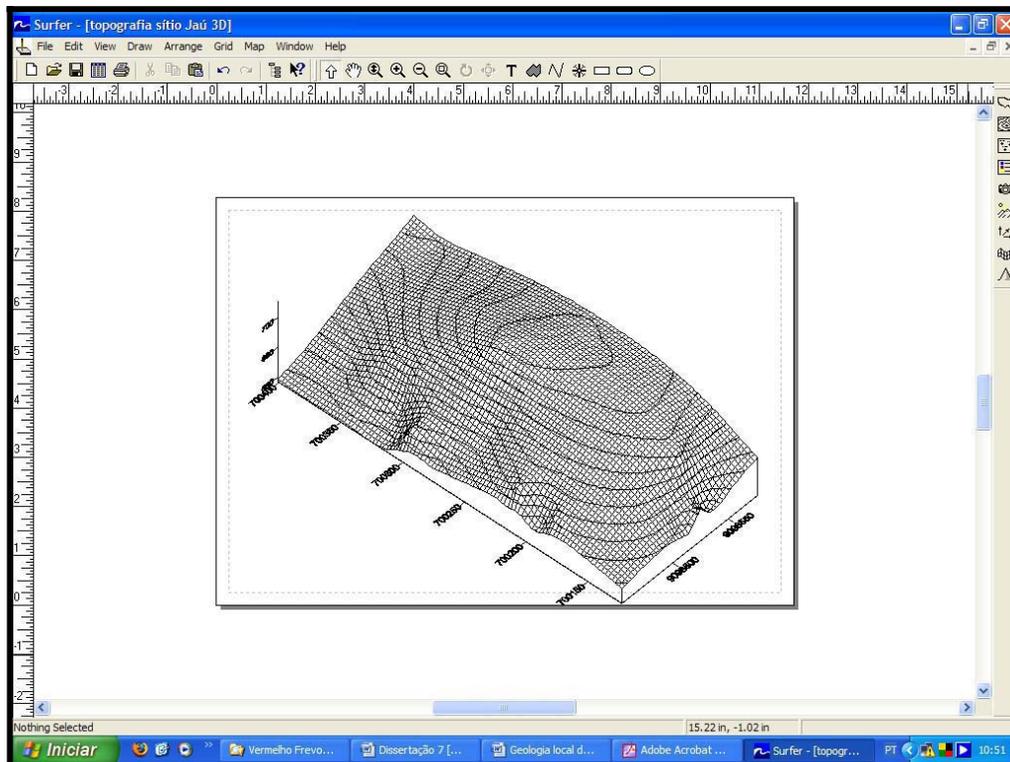
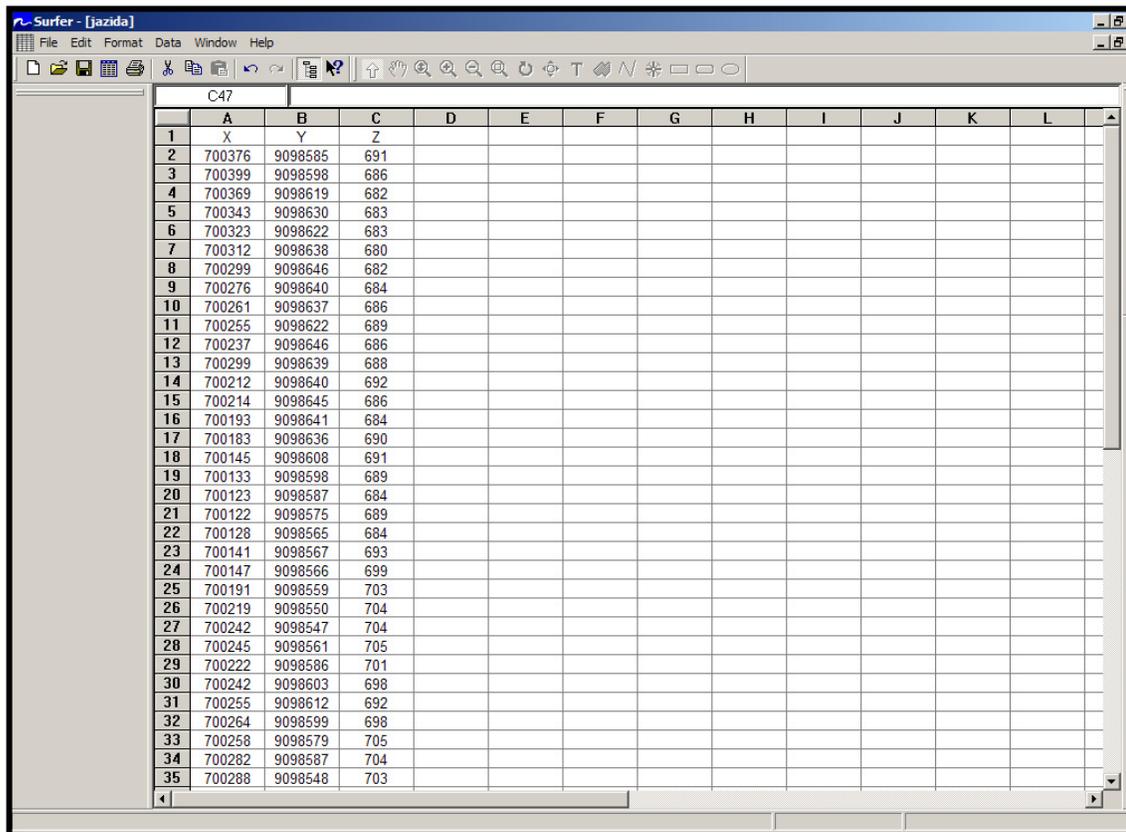


Figura 59 – Superfície sólida da topografia em 3D gerada no aplicativo SURFER 8.0.

Os procedimentos utilizados no aplicativo SURFER para a geração das curvas de nível e o mapa topográfico da área da pedreira no Sítio Jaú são descritos a seguir.

No menu File clicar em NEW, marcar WORKSHEET (folha de trabalho) e em seguida OK, a janela da figura 60 aparecerá para receber os dados coletados em campo ou importar a tabela de outros programas que trabalham com banco de dados, como o Excel por exemplo. A tabela 2 em anexo corresponde aos pontos coletados na área da pedreira utilizados para o desenvolvimento do modelo digital da jazida de granito Vermelho Frevo em Sertânia- PE.



The screenshot shows the SURFER application window titled "Surfer - [jazida]". The interface includes a menu bar (File, Edit, Format, Data, Window, Help) and a toolbar with various icons. The main area displays a data entry table with columns labeled A through L. The data is organized as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	X	Y	Z									
2	700376	9098585	691									
3	700399	9098598	686									
4	700369	9098619	682									
5	700343	9098630	683									
6	700323	9098622	683									
7	700312	9098638	680									
8	700299	9098646	682									
9	700276	9098640	684									
10	700261	9098637	686									
11	700255	9098622	689									
12	700237	9098646	686									
13	700299	9098639	688									
14	700212	9098640	692									
15	700214	9098645	686									
16	700193	9098641	684									
17	700183	9098636	690									
18	700145	9098608	691									
19	700133	9098598	689									
20	700123	9098587	684									
21	700122	9098575	689									
22	700128	9098565	684									
23	700141	9098567	693									
24	700147	9098566	699									
25	700191	9098559	703									
26	700219	9098550	704									
27	700242	9098547	704									
28	700245	9098561	705									
29	700222	9098586	701									
30	700242	9098603	698									
31	700255	9098612	692									
32	700264	9098599	698									
33	700258	9098579	705									
34	700282	9098587	704									
35	700288	9098548	703									

Figura 60 – Entrada de dados no aplicativo SURFER.

Na etapa seguinte salvar o arquivo: em FILE clicar em SAVE AS (salvar como) e escolher GOLDEN SOFTWARE DATA (*.dat) que logo em seguida após o OK abre uma janela GSI DATA EXPORT OPTIONS. Aceitar a informação dada em defaults.

O próximo procedimento é criar um arquivo de extensão (*.grd). Abrir um arquivo novo, na janela seguinte escolher PLOT DOCUMENT e em seguida GRID e DATA, como mostra a figura 61.

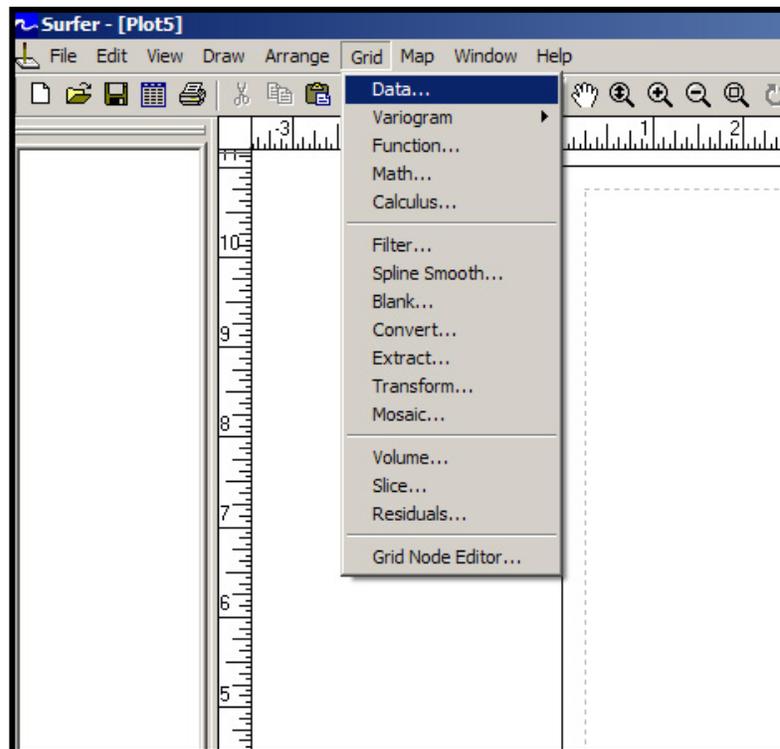


Figura 61 – Ativando o comando GRID e em seguida DATA.

A figura 62 mostra a janela para abrir o arquivo do tipo GOLDEN SOFTWARE DATA, arquivo criado na etapa anterior com extensão (*.dat) e a janela de configuração do GRID DATA (figura 63), onde será possível alterar os parâmetros de entrada para gerar o arquivo de extensão (*.grd).

Esses parâmetros são fundamentais para a criação das curvas de nível, principalmente o método de interpolação. No método KRIGING multiplica-se as três grandezas por 1, esse processo, independentemente da escala do projeto, não altera largura, comprimento e altura (X, Y e Z). Os outros parâmetros são dados das colunas e da geometria de linha do grid.

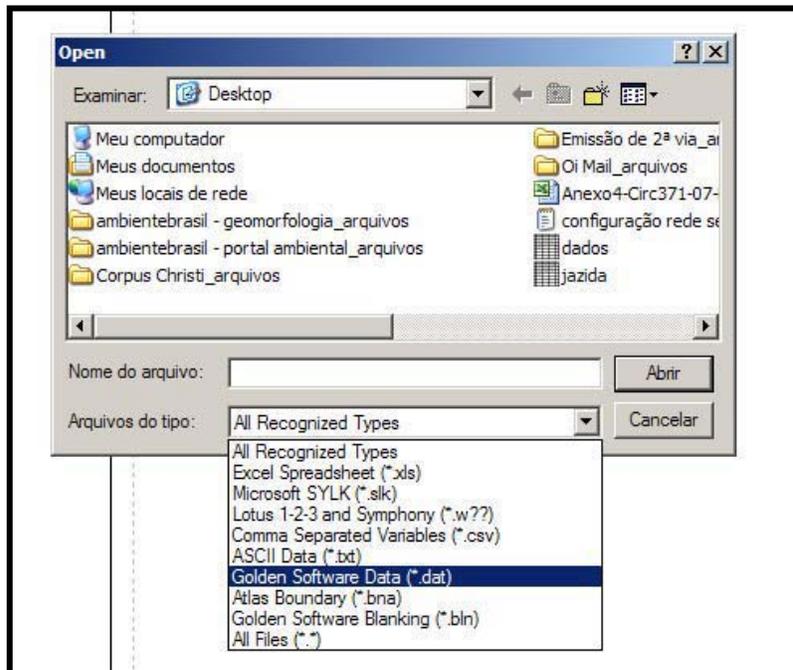


Figura 62 – Abrir um arquivo de dados.

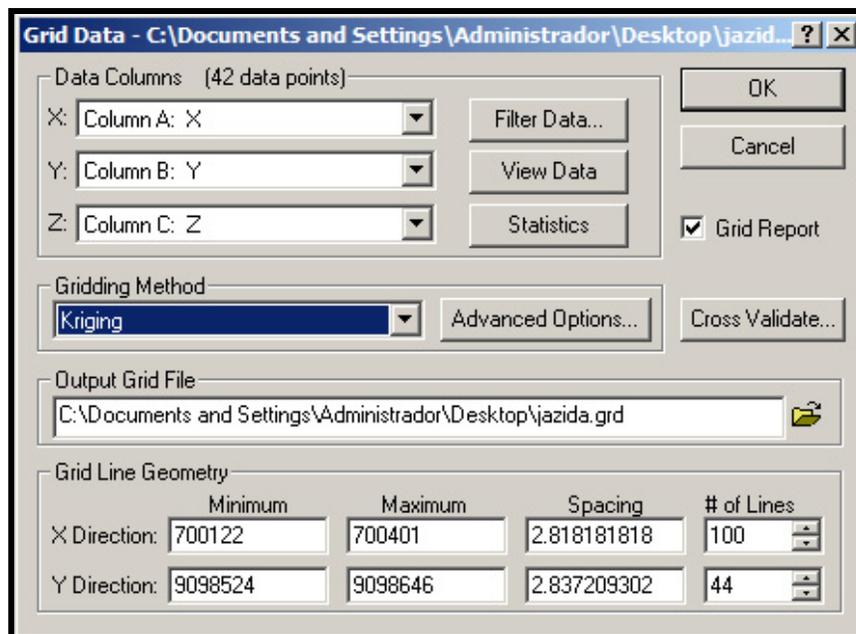
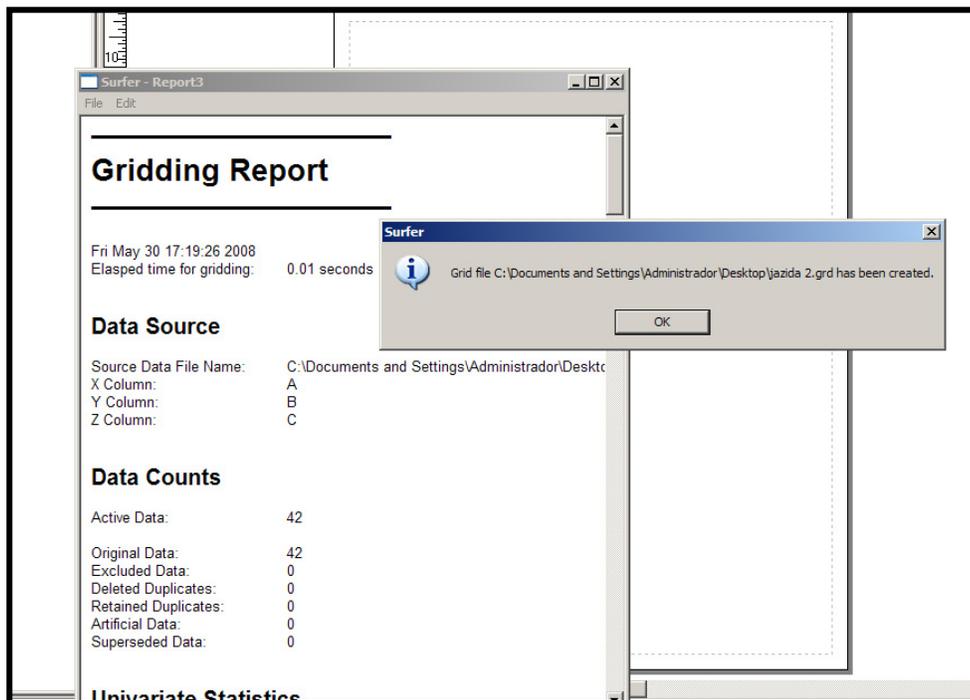


Figura 63 – Janela para alterar os parâmetros de entrada para a geração do GRID.

Ao pressionar OK, o aplicativo abre uma janela informando que o arquivo foi criado e também cria um relatório de informação sobre o grid que pode ser aberto em qualquer editor de texto, como mostra a figura 64.



Figura

Relatório de informação do grid.

O mapa topográfico já foi criado e a etapa seguinte é verificar se corresponde aos dados coletados e observados no local da jazida. No menu MAP, clicar em CONTOUR MAP e em seguida NEW CONTOUR MAP, como mostra a figura 65.

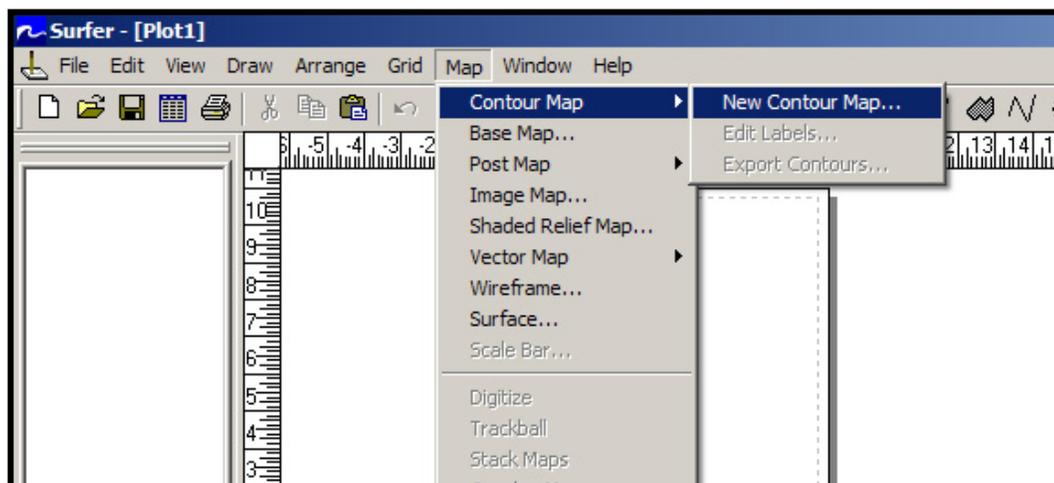


Figura 65 – Contour map.

Na janela OPEN GRID encontre o arquivo gerado na etapa anterior e salvo e pressione OK. A planta topográfica abrirá na área de trabalho do aplicativo como mostra a figura 66.

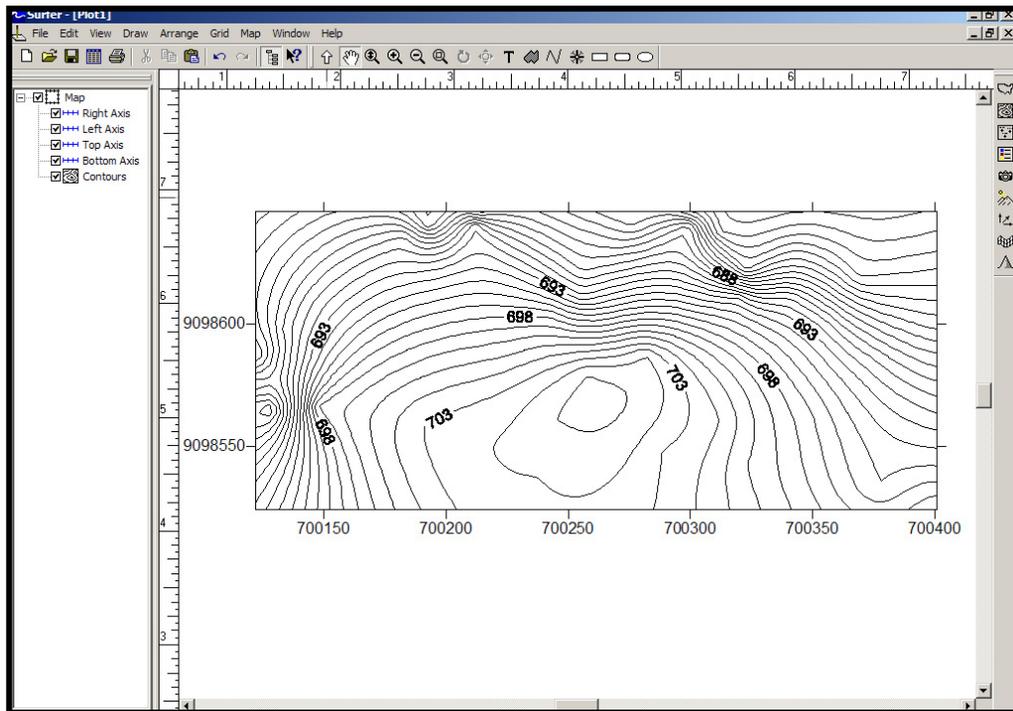


Figura 66 – Planta topográfica da pedreira do Sítio Jaú.

O arquivo criado no aplicativo SURFER foi exportado com extensão (*.dxf), que é uma extensão que o software AUTOCAD faz a leitura. Esse procedimento é mostrado nas figuras 67 e 68.

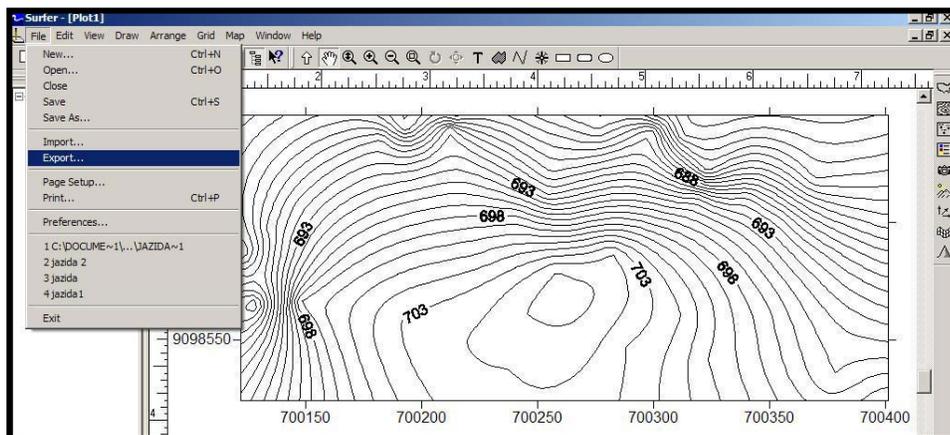


Figura 67 – File export.

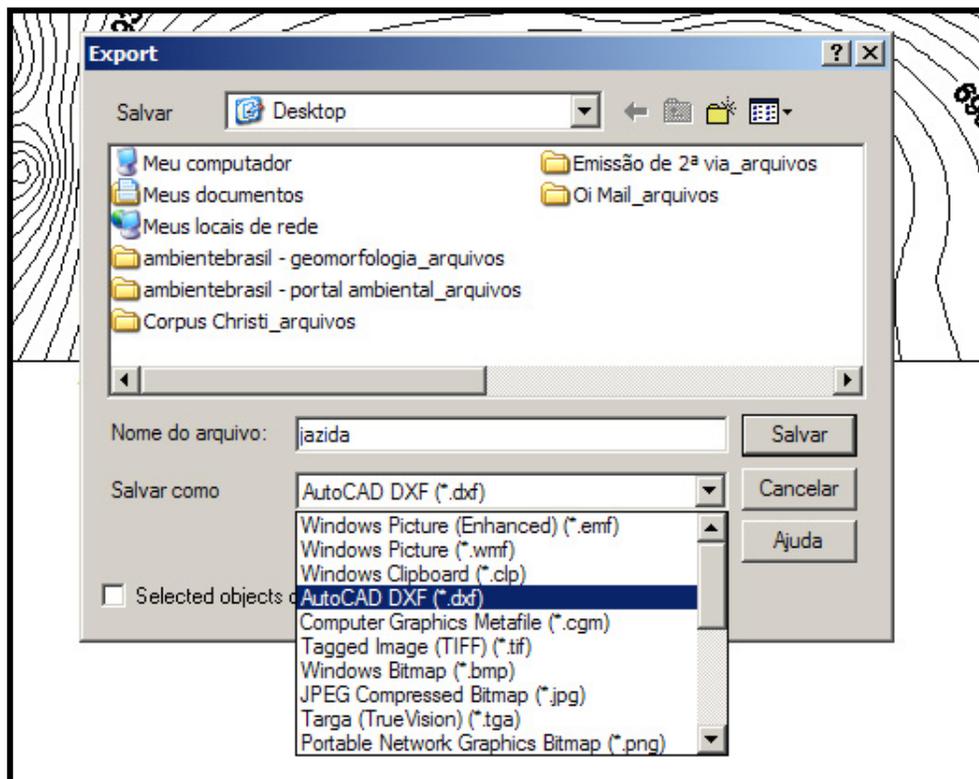


Figura 68 – Export (*.dxf).

Com as curvas de nível geradas no software SURFER e importadas para o AUTOCAD, a etapa seguinte foi desenhar as duas frentes de lavra existentes, definir melhor a topografia do maciço, criar as fraturas naturais e mostrar a litologia com os detalhes dos tipos de rocha encontrados na pedra.

O AUTOCAD foi utilizado para trabalhar o arquivo criado no SURFER e completar o projeto incluindo-se as frentes de lavra existentes, descontinuidades e fraturas detectadas no levantamento de campo e o mapa geológico local.

Não existe um aplicativo que faça tudo com perfeição e há sempre um software complementando o outro. Nessa dissertação para a elaboração do projeto referente ao modelamento digital da jazida foram usados três aplicativos: SURFER, AUTOCAD e 3D STUDIO MAX, e um quarto aplicativo ADOBE PHOTOSHOP para criação das figuras, recortar, melhorar a qualidade da imagem e salvar na forma compactada na extensão JPEG.

Trabalhando com o aplicativo AUTOCAD

O AUTOCAD é o segundo programa que iremos descrever os procedimentos passo-a-passo utilizados na criação das frentes de lavra, fraturas naturais e do mapa geológico estrutural.

No menu FILE clicar em OPEN. Na janela SELECT FILE, trocar o tipo de extensão de (*.dwg) para (*.dxf) como mostra a figura 69.

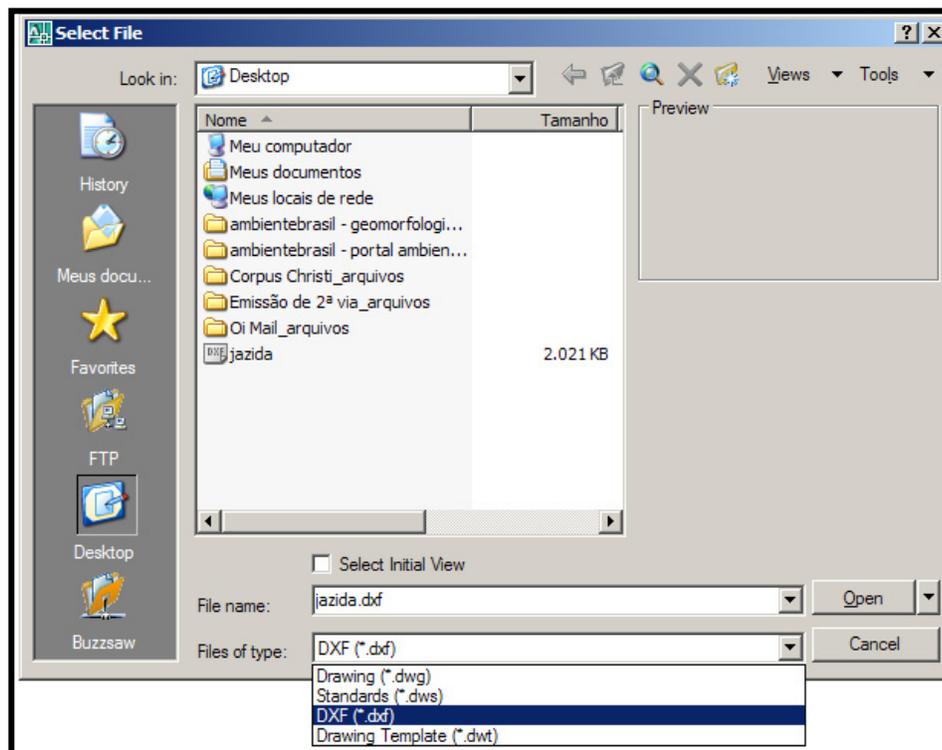


Figura 69 – Abrindo um arquivo (*.dxf) no aplicativo AUTOCAD.

Ao pressionar OK o arquivo não aparece na área de trabalho. Para isso ocorrer devemos ajustar a escala da área de trabalho, digitando a letra Z (ZOOM) enter e E (EXTENTS), dessa forma toda a extensão do desenho será mostrada na área de trabalho. O projeto ficará como mostra a figura 70.

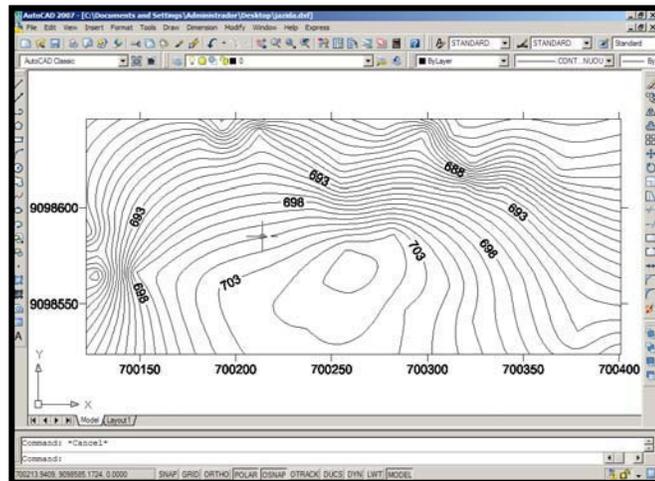


Figura 70 – Arquivo aberto na área de trabalho do AUTOCAD.

A etapa seguinte é criar as três frentes de lavra existentes. A tabela 3 em anexo corresponde aos dados topográficos levantados na frente de lavra 2. Existem 12 pontos numerados de B1 até B12 com suas respectivas coordenadas (X, Y e Z) e também as distâncias entre os vértices das bancadas com o nível de cota correspondente.

No menu DRAW escolher POINT e em seguida SINGLE POINT ou na barra de ícones no lado esquerdo da área de trabalho existe um ícone com um ponto como mostra a figura 71.

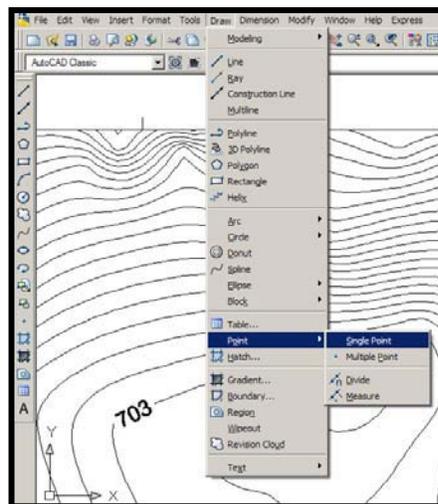


Figura 71 – Menu Draw: inclusão de um ponto por coordenadas.

No canto inferior esquerdo abaixo da linha de comando (COMMAND LINE), existem uma série de números que correspondem as coordenadas (X, Y e Z). Como o projeto é plano bidimensional a coordenada Z (altura) aparece com valor 0, entretanto se observar melhor as coordenadas (X, Y) os valores são compatíveis com os valores adquiridos no levantamento de campo. Com o comando POINT ativado na linha de comando aparece a mensagem SPECIFY A POINT. Então digitaremos as coordenadas do ponto a representar separando as grandezas por uma vírgula, como mostra a figura 72.

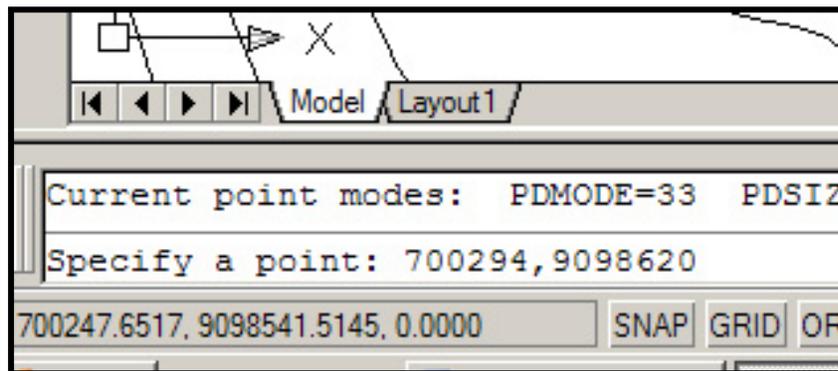


Figura 72 – Representando um ponto por coordenadas.

O ponto é plotado na área de trabalho no local correto, mas o ponto não aparecerá. Devemos, então, seguir para o menu FORMAT e escolher POINT STYLE (figura 73). A janela POINT STYLE abrirá para configurar o tipo de ponto e o percentual do tamanho do ponto na área de trabalho.

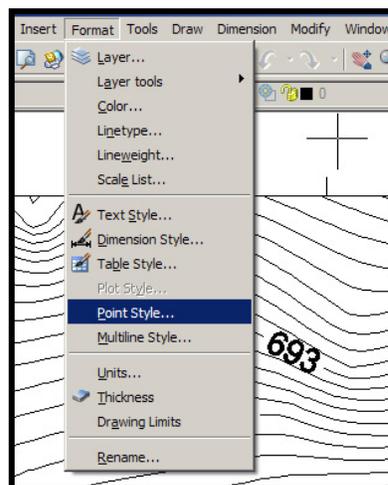


Figura 73 – Trocando o tipo de ponto.

Com os pontos plotados na área de trabalho podemos ligar os mesmos com o comando de linha configurando as bancadas existentes na pedreira. No menu DRAW escolher LINE ou na barra de ícones no lado esquerdo da área de trabalho o primeiro ícone é o comando de linha. Como mostra a figura 74, através da ligação dos pontos dos vértices levantados em campo podemos então formatar a área correspondente a frente de lavra existente.

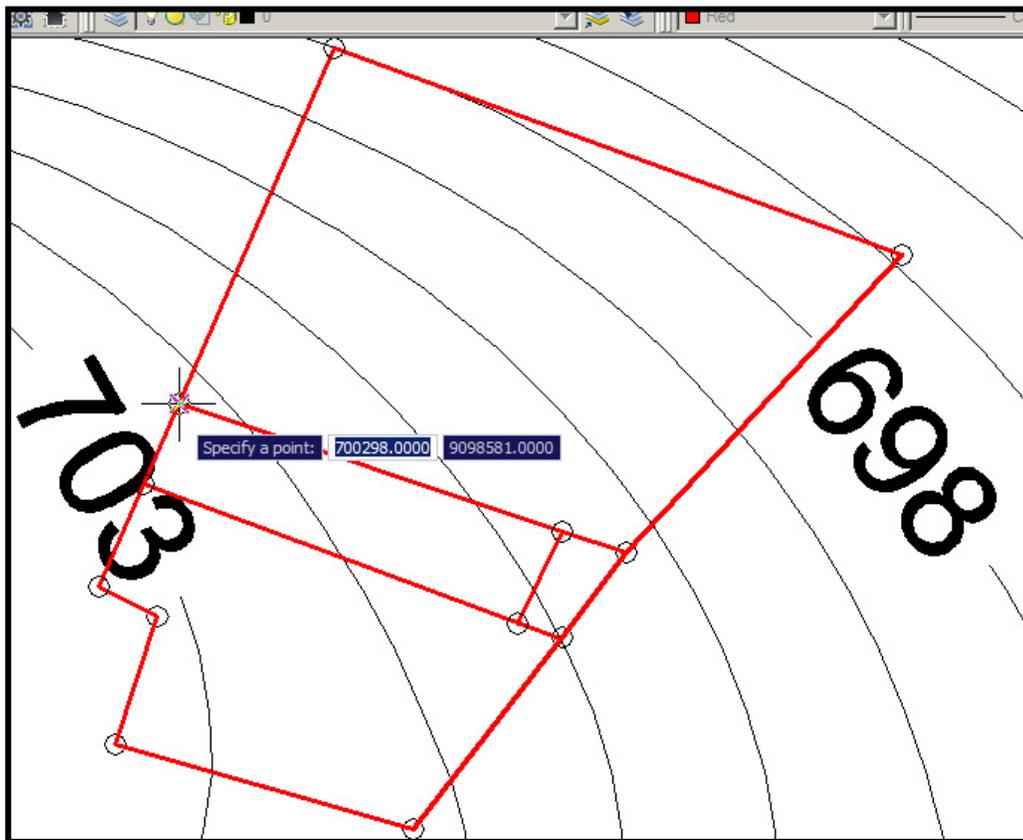


Figura 74 – Representação da frente de lavra 2.

Para representação das frentes de lavra 3 e 4 utiliza-se o mesmo procedimento que foi aplicado no desenho da frente de lavra 2, usando as tabelas 4 e 5 em anexo.

Para representar no projeto virtual as fraturas naturais encontradas em campo e catalogadas na tabela 1 em anexo usaremos os mesmos procedimentos utilizados na construção das bancadas.

Ao longo da “scanline” no percurso de 230 metros foram encontradas várias fraturas. A figura 40 (página 54) mostra a equipe de campo trabalhando na identificação das fraturas naturais entre os pontos P2 (700213, 9098560) e P3 (700263, 9098564) Foram utilizados 6 pontos de estudo (estações base) ao longo as “scanline” de aproximadamente 230 m para a representação das discontinuidades no software AUTOCAD.

Na barra de ícones DRAW clicar em POINT, digitar as coordenadas de cada ponto (estação base). Ainda na barra de ícones DRAW clicar no último ícone MULTILINE TEXT, para inserir o nome de cada ponto. Entre os pontos P2 e P3 estão passando várias fraturas. Para representar uma fratura com atitude de 110° Az (vertical) que passa no ponto P2 segue-se o seguinte procedimento: com a ferramenta LINE iniciar o segmento no ponto P2 e em seguida digitar: (@ comprimento < ângulo de inclinação em relação ao eixo X no sentido anti-horário), por exemplo, (@30<160), se o comprimento for pequeno para atingir os limites usar o comando EXTEND (estender), caso contrário (grande demais), usar TRIM para cortar. Essas duas ferramentas estão na barra de ícones MODIFY no canto direito da área de trabalho ou no MENU MODIFY como mostram as figuras 75 e 76.

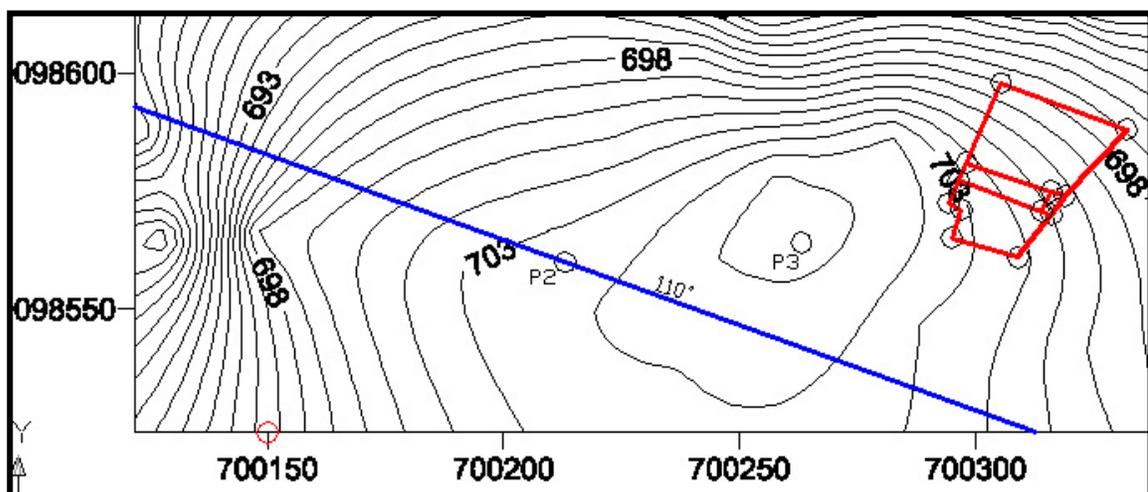


Figura 75 – Representação da fratura 110° no ponto P2.

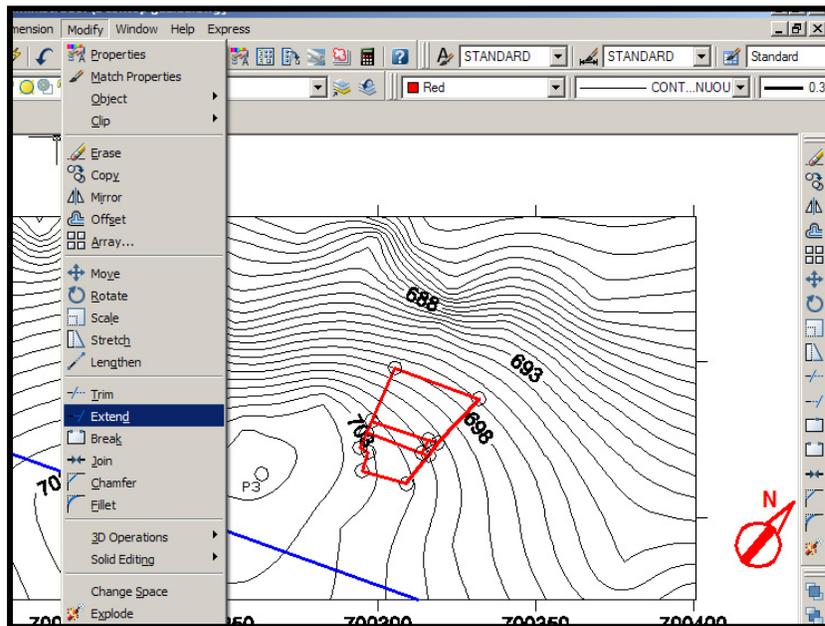


Figura 76 – Menu MODIFY: ferramenta EXTEND.

A confecção do mapa geológico é uma composição gráfica dos elementos já representados anteriormente, como curvas topográficas, bancadas e fraturas naturais. Sobre esses elementos são representados símbolos geológicos relacionados às litologias e discontinuidades identificadas no levantamento de campo. Para desenhar os símbolos são utilizadas as seguintes ferramentas: SPLINE, HATCH e principalmente a barra de ícones DRAW ORDER.

O recurso SPLINE está na barra de ícones DRAW sendo uma ferramenta que faz linhas com curvas. A figura 77 mostra a localização da ferramenta.

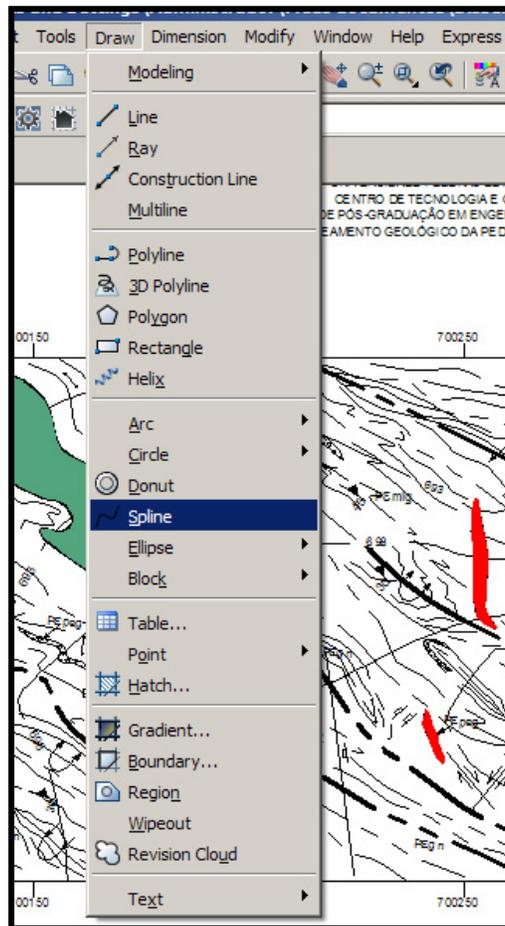


Figura 77 – Menu DRAW: ferramenta SPLINE para desenhar linhas curvilíneas.

O comando HATCH é uma ferramenta para hachurar um espaço vazio com símbolos ou cores. Essa ferramenta está localizada na barra de ícones DRAW. Quando ativada abre uma janela onde são configurados os símbolos, as cores, escalas e ângulos. Em TYPE AND PATTERN clicar nos três pontinhos ao lado do botão de rolagem para abrir outra janela com os símbolos. Em BOUNDARIES ativar o ícone que representa a forma de seleção (ADD PICK POINT ou ADD SELECT OBJECTS) do objeto para receber a hachura, se ativar PICK POINT clicar dentro do espaço que vai receber a hachura, enquanto o SELECT OBJECTS é utilizado para selecionar o contorno do objeto. A figura 78 mostra as duas janelas.

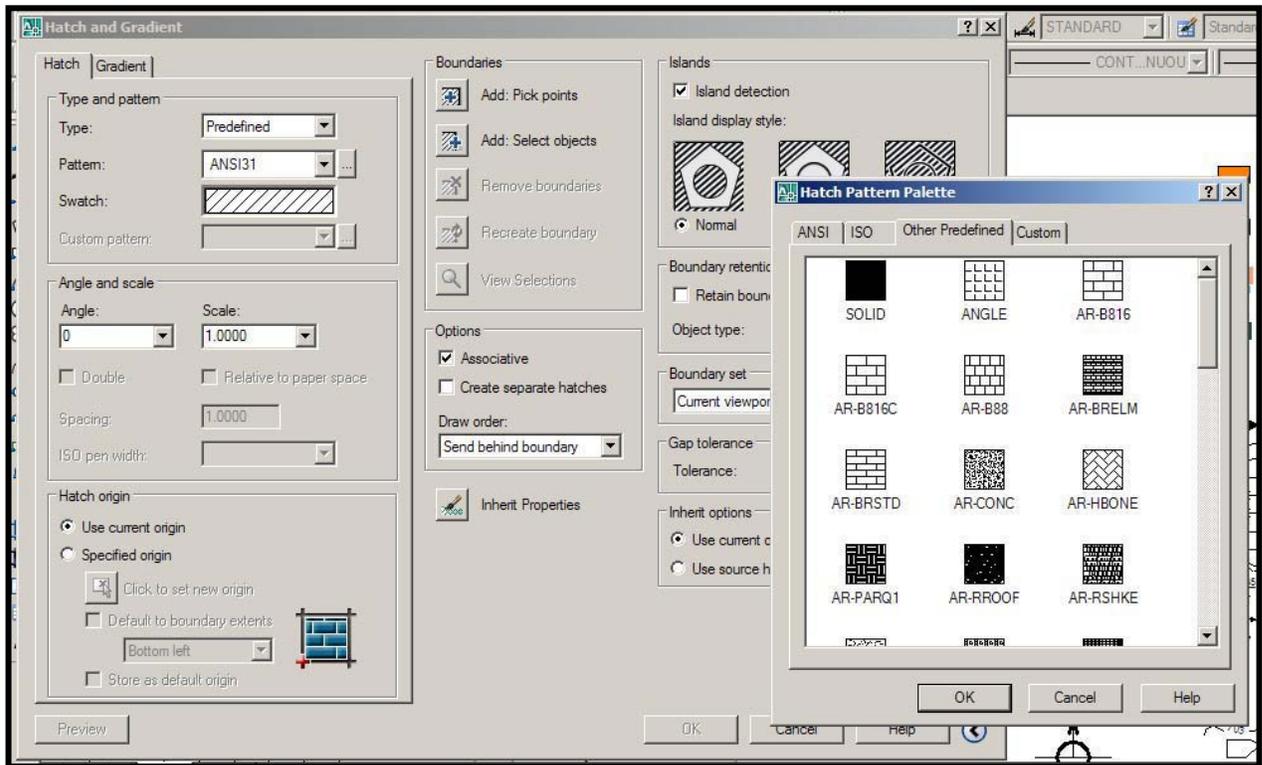


Figura 78 – Janela de configuração da ferramenta de cores e símbolos HATCH.

A barra de ferramentas DRAW ORDER é muito relevante quando se trabalha com cores, principalmente quando usa a ferramenta HATCH. O comando DRAW ORDER tem o objetivo de ordenar as cores e os símbolos e quais destes ficam por cima ou por trás de um determinado objeto. A figura 79 mostra onde encontrar as ferramentas de ordens.

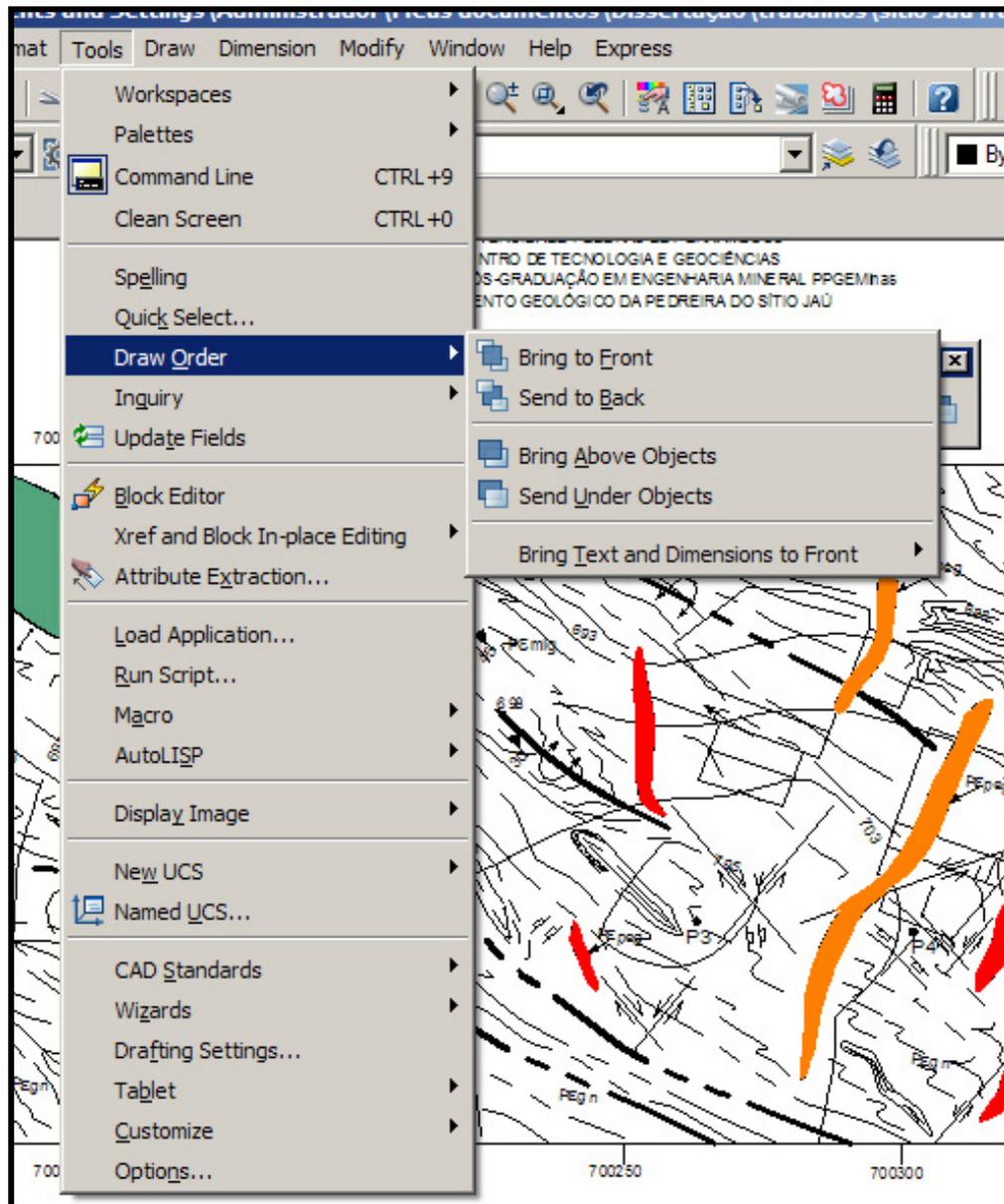


Figura 79 – Menu TOOLS: ferramentas draw order: orientação dos objetos.

Para completar o projeto devemos criar as margens de formato de papel e o quadro de legenda. As ferramentas para executar o trabalho são: LINE, MULTILINE TEXT, ERASE, TRIM, EXTEND, FILLET, HATCH, POINT, COPY e MOVE.

O modelo em duas dimensões desenvolvido nos softwares SURFER e AUTOCAD conforme descrito anteriormente foi então trabalhado no software 3D STUDIO MAX para receber a representação virtual. Essa representação em três dimensões foi executada na versão MAX R3.

Trabalhando com o aplicativo 3D STUDIO MAX

O 3D STUDIO MAX é um software apropriado para a modelagem e animação de qualquer tipo de objeto com vistas a desenvolver animações e projetos de Realidade Virtual. A figura 80 mostra a interface do software.

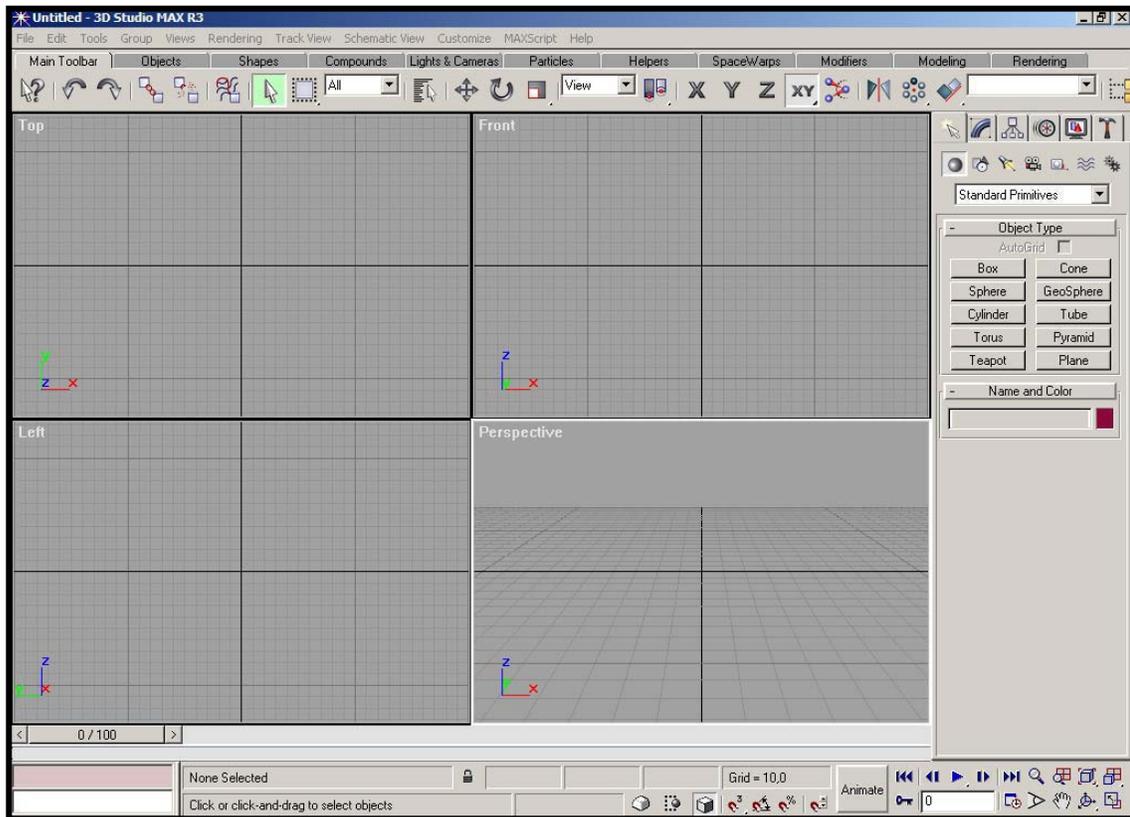


Figura 80 – Interface do software 3D STUDIO MAX R3.

No menu FILE ao ativar IMPORT, a janela SELECT FILE TO IMPORT se abre. Trocar o tipo de arquivo para a extensão (*.dwg) e em seguida procurar o arquivo desejado.

Atenção! A versão MAX R3 só consegue ler arquivos (*.dwg) na versão AUTOCAD 2000 ou inferior.

Ao encontrar o arquivo e pressionar OPEN são abertas duas janelas: a primeira DWG IMPORT clique em OK e a segunda IMPORT AUTOCAD DWG FILE também clique em OK. O arquivo é importado para a área de trabalho como mostra a figura 81.

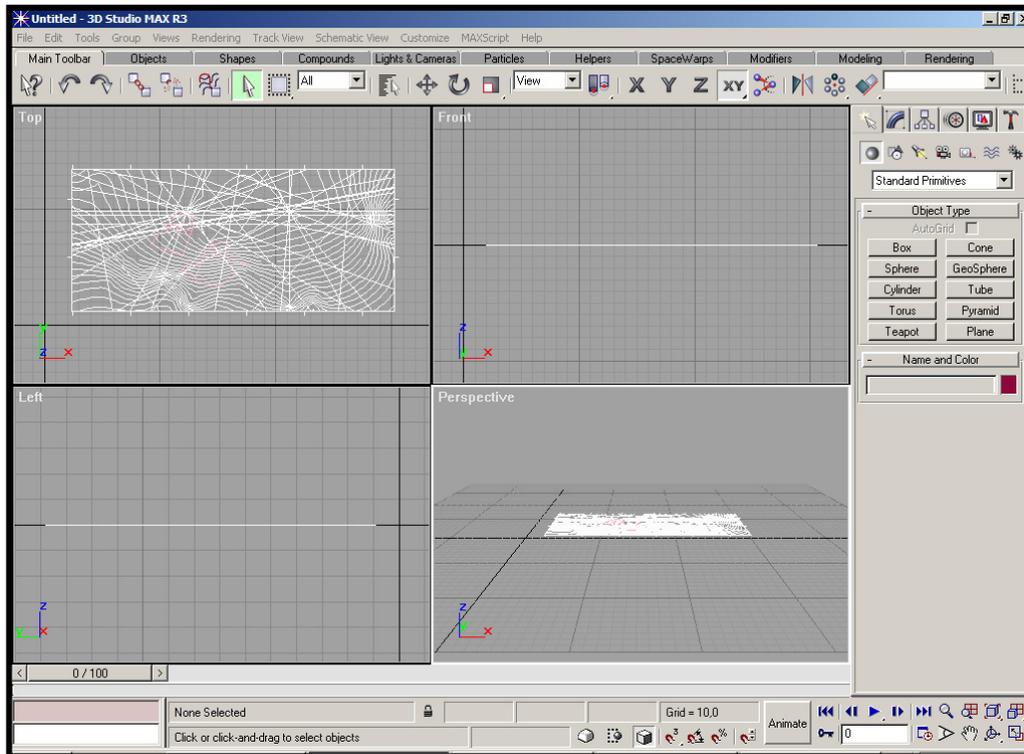


Figura 81 – Arquivo importado para a área de trabalho do 3D STUDIO MAX R3.

A primeira providência a ser tomada é esconder as linhas de fraturas para não atrapalhar na confecção do modelo tridimensional. Clicar em SELECT BY NAME para abrir a janela SELECT OBJECTS. Selecionar todos os objetos menos (GSLAYER 01) e em seguida pressionar o botão SELECT, como mostra a figura 82.

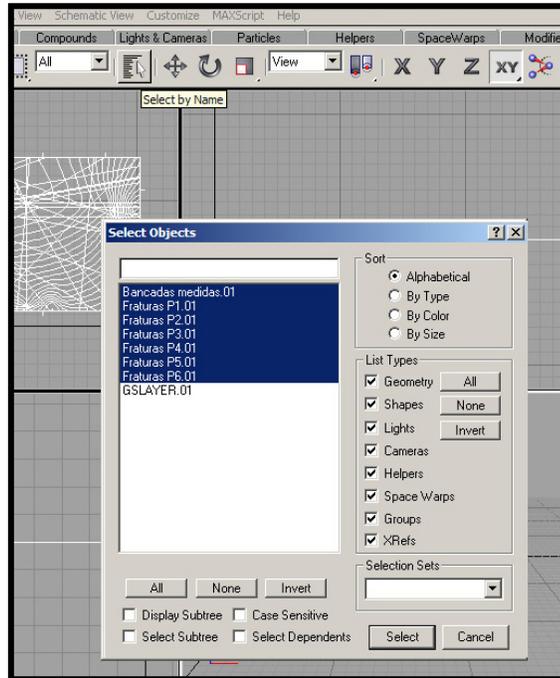


Figura 82 – Janela de seleção dos objetos.

Após selecionar os objetos clicar com o botão direito do mouse na janela correspondente a vista superior (TOP) e em seguida clicar em cima do desenho também com o botão direito para abrir a janela que dá acesso às propriedades, como mostra a figura 83.

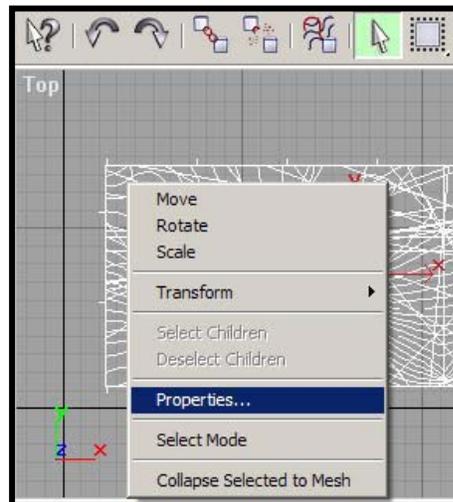


Figura 83 – Janela de acesso às propriedades.

Ao clicar em propriedades a janela OBJECT PROPERTIES se abre. Marcar a caixa HIDE (esconder) em seguida OK. Na visão superior as linhas vão desaparecer ficando livre para iniciar a modelagem, como mostra a figura 84.

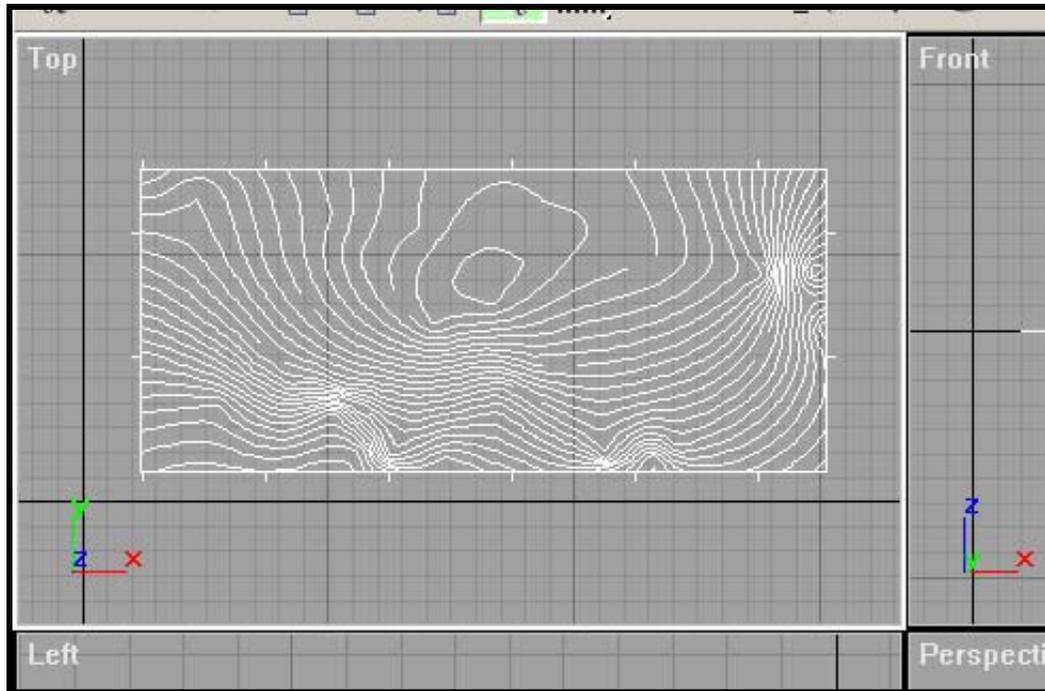


Figura 84 – Janela TOP mostrando as curvas prontas para receber a malha de pontos.

Trocar o cursor de SELECT OBJECT para SELECT AND MOVE, conforme mostra a figura 85.

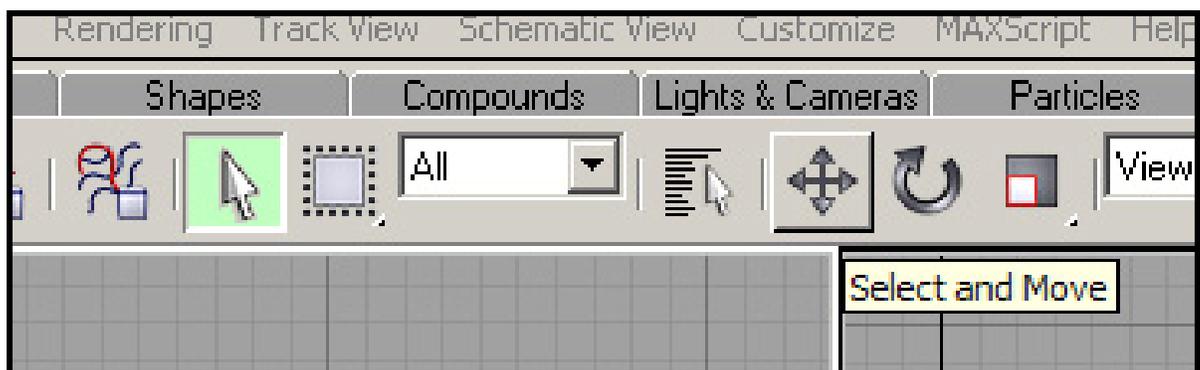


Figura 85 – Comando: trocar o cursor para select and move.

No painel lateral direito na primeira pasta (CREATE) e na subpasta GEOMETRY ativar o ícone PLANE, como mostra a figura 86.

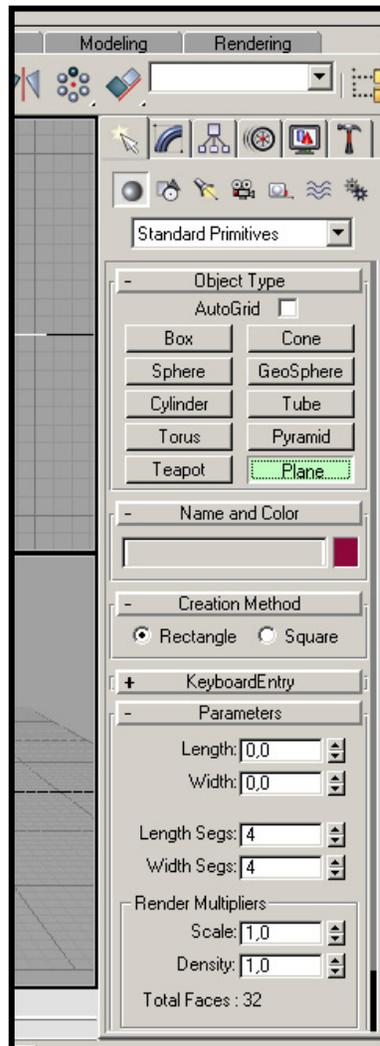


Figura 86 – Pasta create e subpasta geometry para ativar o comando PLANE.

Na visão superior (TOP) clicar e arrastar para criar um plano de qualquer dimensão. Com o botão direito do mouse clicar em cima do plano representado para abrir a janela de configuração e em seguida marcar CONVERT TO EDITABLE MESH conforme mostra a figura 87.

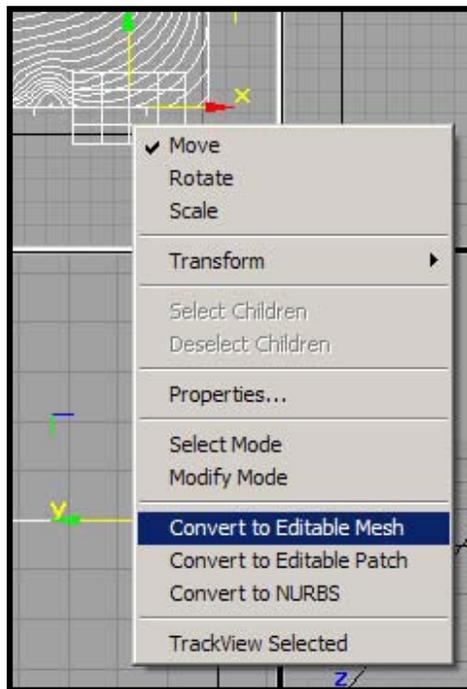


Figura 87 – Janela para converter um plano em uma malha editável.

Ao converter o plano para malha editável, a pasta CREATE no painel do lado direito passa para a segunda pasta: MODIFY. Nessa pasta aparecem os símbolos: pontos, triângulos, quadrado e cubo. Ao levar o cursor para o painel num espaço vazio a seta se transforma numa mão. Se pressionar o botão esquerdo do mouse e segurar, parte do painel rola para cima ou para baixo. Ao clicar em cima dos pontos (VERTEX) os vértices do plano se apresentam na cor azul. Com a ferramenta SELECT AND MOVE ativada selecionar os vértices do plano que passa para a cor vermelha e deletar.

Antes de criar os vértices devemos entender as ferramentas de aproximação: ZOOM, PAN, ARC ROTATE e a principal: MIN/MAX TOGGLE. Esta última ferramenta é fundamental para deixar as janelas de trabalho em toda a área de extensão. Essas ferramentas ficam no canto inferior direito, como mostra a figura 88 onde podemos ver as ferramentas com os respectivos nomes.

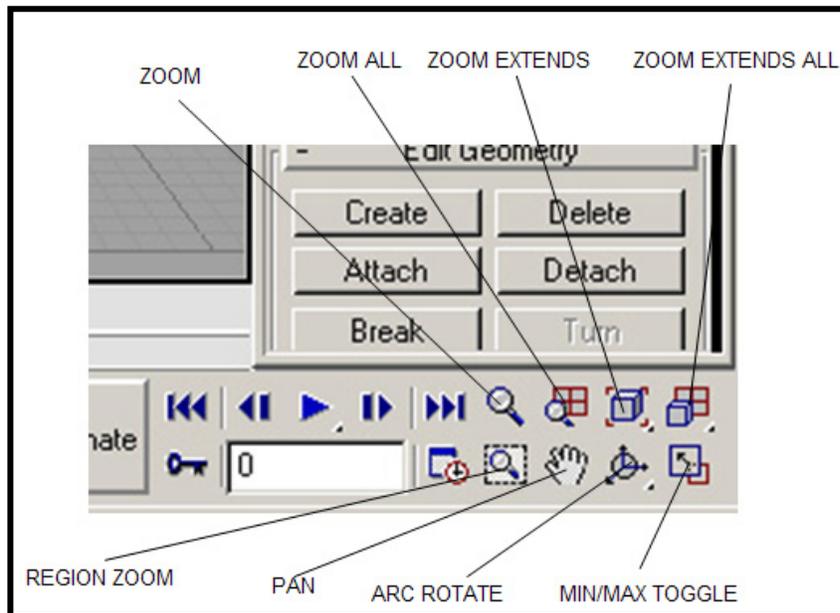


Figura 88 – Ferramentas de aproximação.

Voltando a criação da malha após deletar os vértices do plano, deixar a visão TOP ativada e em seguida clicar em MIN/MAX TOGGLE para tomar toda extensão da área de trabalho. Ligar os vértices no painel do lado direito e em seguida rolar o painel para cima e ativar o ícone CREATE, conforme figura 89.

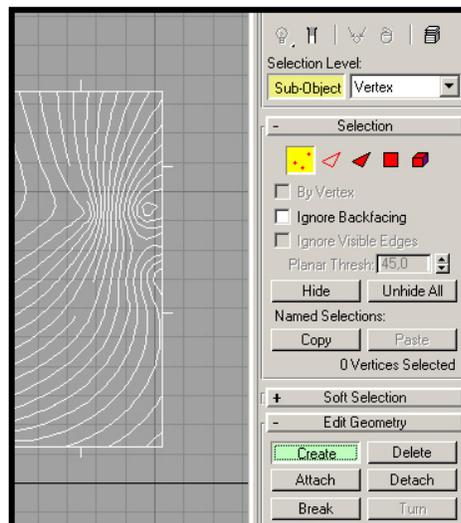


Figura 89 – Janela para criação dos vértices.

Para maior aproximação usar a ferramenta REGION ZOOM e em seguida clicar sobre as curvas de mesma altura para construir os vértices. A figura 90 mostra a construção dos vértices na curva de altitude 685 m.

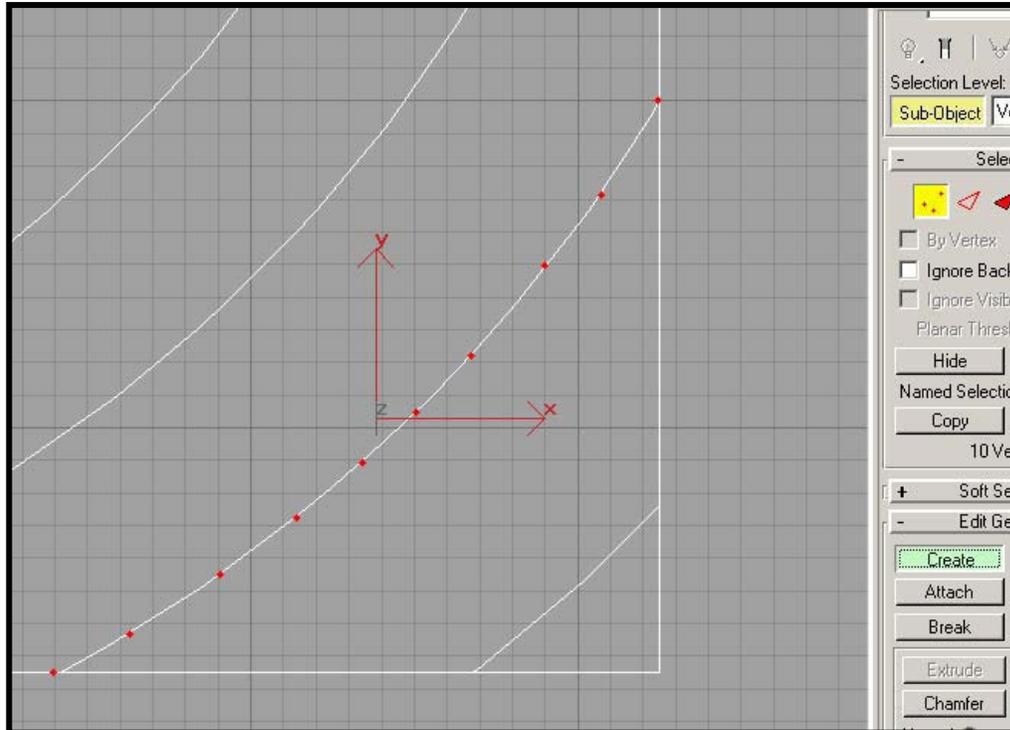


Figura 90 – Construção dos vértices na curva de altitude 685 m.

Colocar vértices em todas as curvas que tenham a mesma altitude. Esses vértices são criados na altura 0 (zero), no momento da elevação para a altura correta eles deverão estar em vermelho para poder atingir o seu objetivo.

No menu TOOLS ativar TRANSFORM TYPE-IN para abrir a janela de mesmo nome. Ligar SELECT AND MOVE para ativar os eixos, observe que o valor de Z é 0 (zero). Como o desenho está na escala de 1 : 1000 se dividir o valor da curva 685 por 1000 o resultado é 0,685, um valor muito pequeno. Então se usarmos as duas últimas casas a deformação da altura não é percebida. Para visualizar a elevação dos vértices vamos clicar em MIN/MAX TOGGLE para deixar em quatro janelas. Em seguida na caixa do Z, digitar 685 e pressionar enter, como mostra a figura 91.

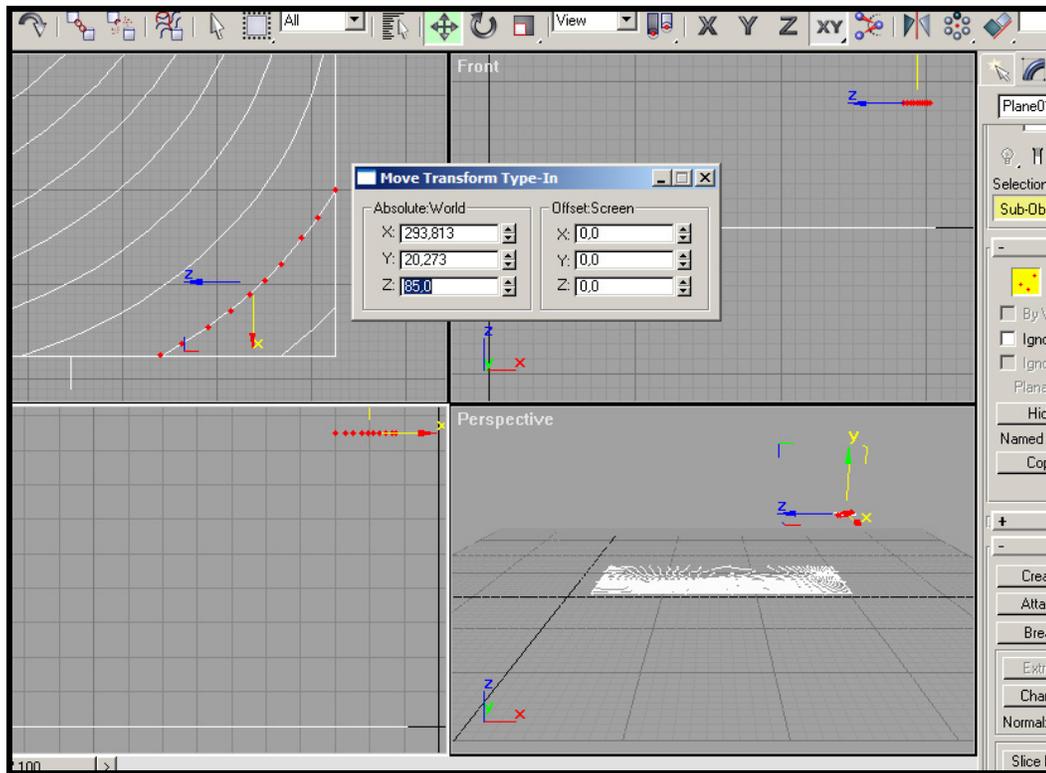


Figura 91 – Elevação dos vértices para a cota correta.

Para a curva de altitude 686 m desativar os vértices criados anteriormente e proceder da mesma forma para as outras curvas de nível.

A criação da superfície é mais trabalhosa e segue o seguinte procedimento: ativar o segundo triângulo de nome FACE. Em seguida ativar também CREATE e seguir com o ponteiro do mouse para cima do vértice. O ponteiro se transforma numa cruz, quando estiver sobre o ponto. Ligar dois vértices de mesma altura e um terceiro em outra altura no sentido anti-horário, conforme mostrado na figura 92.

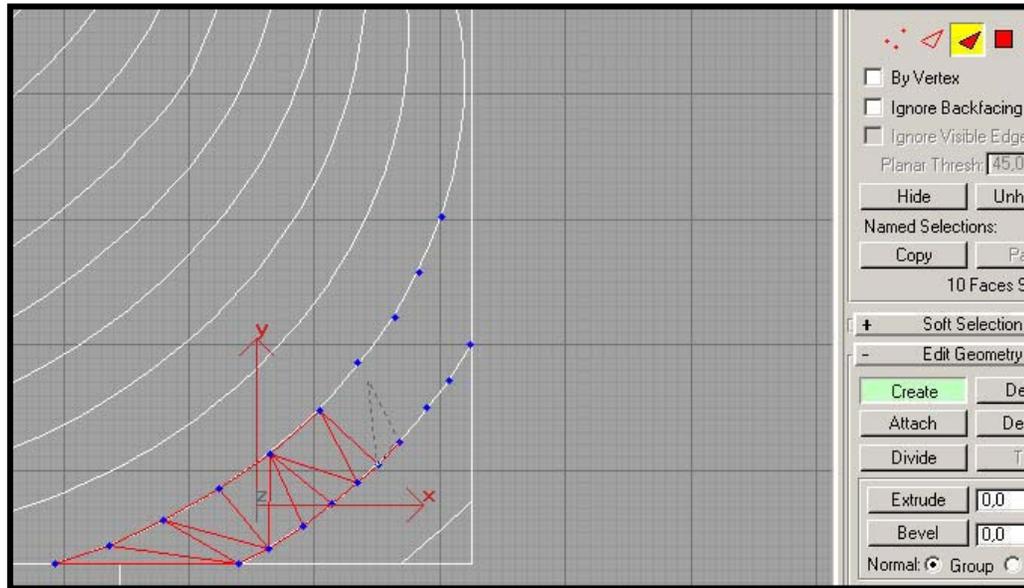


Figura 92 – Processo para criação da superfície.

Para visualizar a superfície, alternar a área de trabalho para quatro janelas, em cima do nome TOP na janela TOP, clicar com o botão direito do mouse. Uma nova janela se abre: selecionar SMOOTH + HIGHLIGHTS e EDGED FACES, este último comando para deixar as linhas, conforme é ilustrado na figura 93.

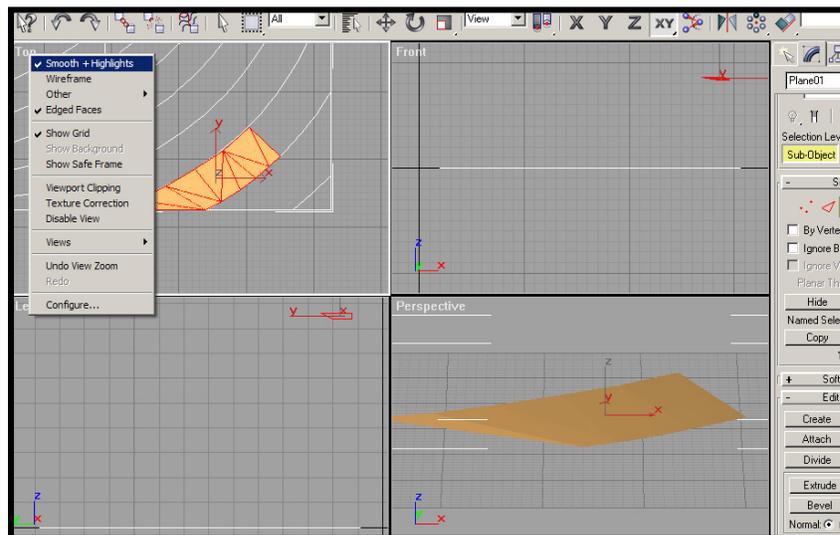


Figura 93 – Visualização da superfície.

Para completar a superfície prosseguir na criação dos vértices, elevando para as altitudes corretas e em seguida ligar os vértices por faces triangulares, até completar toda área do maciço conforme mostra a figura 94.

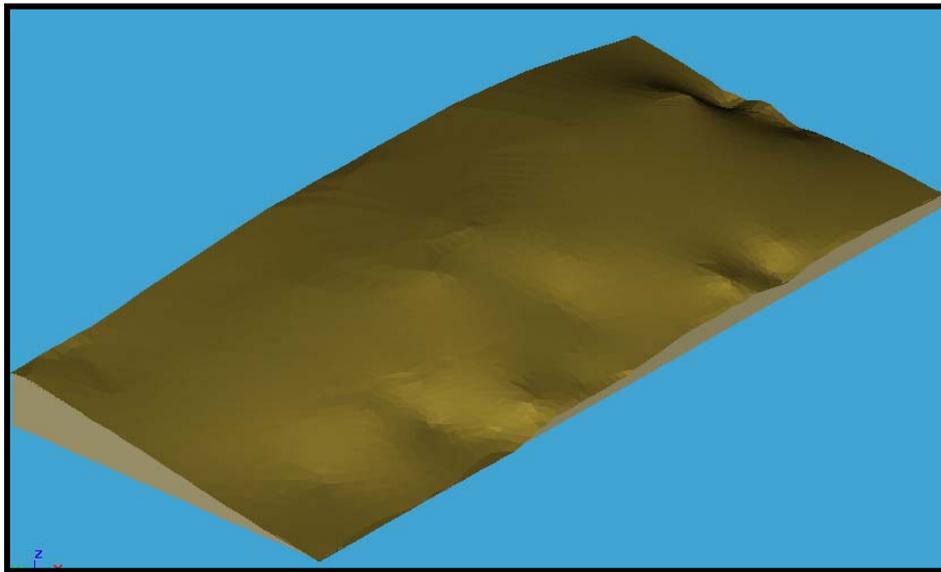


Figura 94 – Representação do volume da pedra de granito Vermelho Frevo, Sítio Jaú, Sertânia – PE.

As frentes de lavra existentes foram criadas da mesma forma como a superfície topográfica como mostra a figura 95.

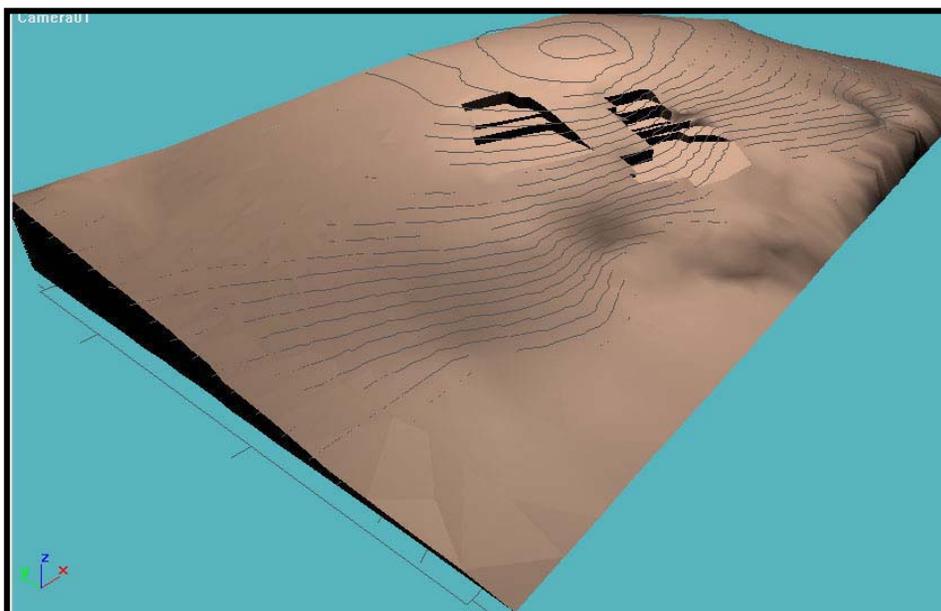


Figura 95 – Perspectiva cônica do maciço rochoso com as frentes de lavra existentes na pedra do Sítio Jaú.

Na etapa seguinte foi elaborada uma imagem do mapa geológico local da área da pedreira e colada ao bloco diagrama para mostrar a localização exata dos planos de fraturas e diques pegmatíticos (graníticos) no maciço rochoso, conforme pode ser visto na figura 96.

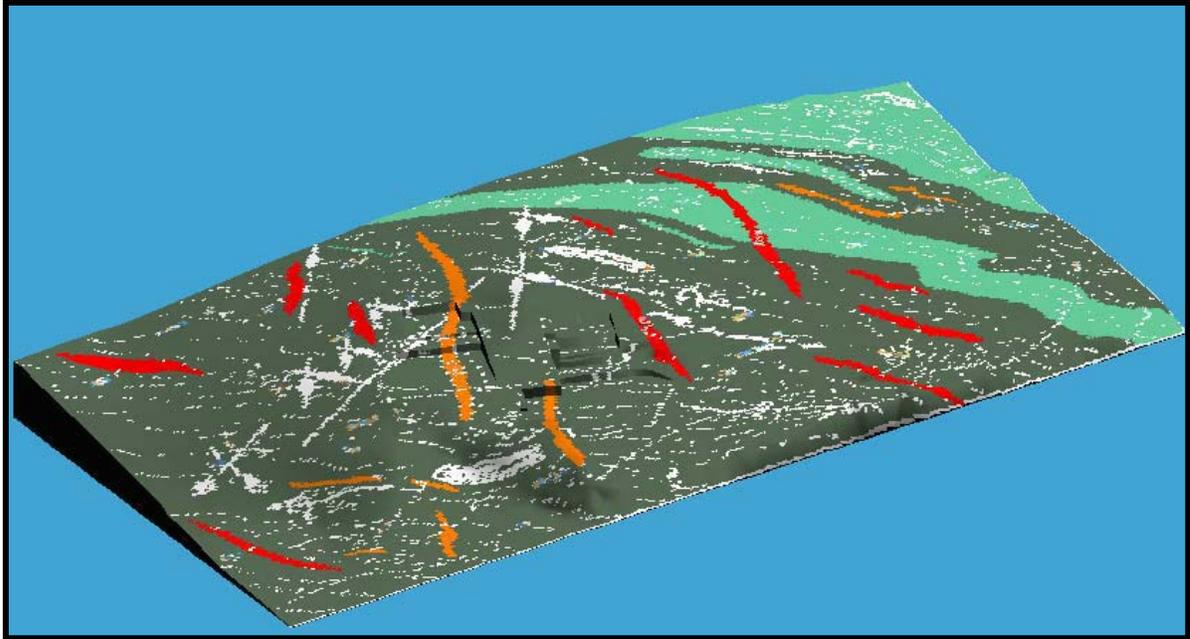


Figura 96 – Visualização dos diques pegmatíticos (graníticos), corpos rochoso sem valor comercial no modelo digital da pedreira do Sítio Jau.

A partir desse modelo geológico estrutural foram desenvolvidos os cálculos de cubagem de reservas e simulação de aproveitamento de blocos comerciais de rocha ornamental considerando a configuração atual das bancadas antigas da pedreira em relação à exploração de blocos no sentido das fraturas principais.