



Universidade Federal de Campina Grande

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MODELAMENTO GEOLÓGICO DA JAZIDA DE
VERMICULITA COM PROGRAMA DATAMINE, E SUA
APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO E EXPLORAÇÃO NA
REGIÃO DE QUEIMADA NOVA - PIAUÍ**

GRACÍLIO VARJÃO DE OLIVEIRA

Campina Grande/PB

2003

GRACÍLIO VARJÃO DE OLIVEIRA

**MODELAMENTO GEOLÓGICO DA JAZIDA DE VERMICULITA COM PROGRAMA
DATAMINE, E SUA APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO E EXPLORAÇÃO NA
REGIÃO DE QUEIMADA NOVA - PIAUÍ**

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

Área de Concentração: Engenharia de Minas

Orientador: Prof. Dr. Tumkur Rajarão Gopinath

Co-Orientador: Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima

Campina Grande/PB

2003



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

O49m
2003 Oliveira, Gracilio Varjão
Modelamento geológico da jazida de vermiculita com programa datamine, e sua aplicação no planejamento e exploração na região de Queimada Nova- Piauí/ Gracilio Varjão de Oliveira. — Campina Grande: 2003.
106fs.; il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
Orientadores: Tumkur Rajarão Gopinath e Aarão de Andrade Lima.

1— Vermiculita 2— Lavra 3— Modelamento Geológico I— Título

CDU 553.678

GRACÍLIO VARJÃO DE OLIVEIRA

**MODELAMENTO GEOLÓGICO DA JAZIDA DE VERMICULITA COM
PROGRAMA DATAMINE, E SUA APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO E
EXPLORAÇÃO NA REGIÃO DE QUEIMADA NOVA - PIAUÍ**

Aprovada em : ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Tumkur Rajarao Gopinath

Orientador



Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima

Co-Orientador



Prof. Dr. Dorival Carvalho Pinto

Examinador



Prof. Msc. José Cesar de Albuquerque Costa

Examinador

Data da apresentação publica:

Algumas pessoas marcam a nossa vida para sempre, umas porque nos vão ajudando na construção e nos apresentam projetos de sonho e outras ainda porque nos desafiam a construí-los. Quando damos conta, já é tarde para lhes agradecer. Dedico este trabalho a memória de minha mãe (**Raquel Varjão**). A maior e principal incentivadora desse projeto.

AGRADECIMENTOS

A DEUS Eterno, criador e mantenedor de todas as coisas.

De maneira muito especial aos meus pais Cecílio Nunes de Oliveira e **Raquel Maria Varjão de Oliveira**, pela oportunidade que me deram de até aqui poder chegar, bem como a toda a minha família, irmão e irmãs.

Ao meu amigo e orientador, Prof Dr. Tumkur Rajarao Gopinath, principal mentor deste projeto, pelas contribuições e sugestões fundamentais para a elaboração desta dissertação.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr Aarão de Andrade Lima, pela amizade, orientação e acompanhamento durante toda a etapa desse trabalho.

A Nadja Cínara Xavier do Nascimento, pelo apoio, ajuda, paciência e compreensão.

À Eucatex Mineração pelo apoio e incentivo nos trabalhos de pesquisa, em especial ao Geol. José Luiz, que possibilitou que este trabalho fosse desenvolvido dentro da empresa, e colaborado na sua elaboração, ao Tec. Araújo pelo significativo apoio.

A Universidade Federal de Campina Grande, em especial a todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Minas.

A secretária Maria do Carmelo, pelo apoio, conselho e pelo muito que contribuiu na minha passagem pela Pós-Graduação.

Aos Colegas do Curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho.

A todos aqueles que de uma maneira ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho.

Finalmente, a CAPES pelo grande incentivo e auxílio financeiro a esta e a tantas outras pesquisas nas mais diversas áreas.

RESUMO

A utilização do software *Datamine* na elaboração do modelo geológico tridimensional da jazida de vermiculita no estado do Piauí, conjuntamente com os trabalhos de geologia de mina é uma ferramenta eficiente que vem melhorando o grau de confiabilidade na estimativa de fatores intrínsecos ao corpo Massapé. A jazida de vermiculita da região de Paulistana de Piauí encontra-se associada as rochas ultramáficas encaixada por formações Proterozoicas. A vermiculita ocorre disseminada de forma irregular. O depósito tem extensão de 2 km x 1,5 km e minérios são explorados em forma de minas a céu aberto. Devido irregularidade da jazida a exploração sistemática torna onerosa e de alto custo. O objetivo deste trabalho é para definir a forma exata da jazida de minério utilizando modelamento tridimensional e geoestatística. O estudo foi feito em duas áreas da jazida a saber Cava Nova e Cava Piloto. A espessura da vermiculita foi determinada com uma malha de 89 e 102 furos respectivamente. A espessura de minério na Cava Nova varia de 0,85 m a 19,39 m com uma média de 10,8 m e na Cava Piloto varia de 0,84 m a 10,0 m com uma média de 3,91 m. Os coeficientes de variação obtidos de 36,54% da Cava Nova e 41,42 da Cava Piloto mostraram variação considerável da espessura na jazida. A análise variográfica de espessura mostra um variograma com boa estrutura. Mudanças de distância entre pares ajudou melhorar a estrutura variográfica. O variograma é uma curva ondulada com efeito de buraco refletindo a forma lenticular de jazida. O modelamento do depósito com programa *Datamine* foi elaborado utilizando espessura como variável. Os modelos tridimensionais que podem ser visualizados em qualquer angulo demonstra alto grau de irregularidade do depósito nos sentidos verticais e horizontais. A forma geométrica da jazida varia bastante, refletindo a origem da rocha que gerou o depósito. A natureza intrusiva das rochas portadoras de vermiculita e modificados pela deformação estrutural resultou em a forma geométrica muita variada de jazida de vermiculita.

ABSTRACT

The vermiculite deposits of the Queimada Nova locality of the Paulistana region of Piauí State in northeast Brazil is associated with the ultrabasic intrusives which are enclosed by the country rocks composed of garnet schists and migmatites of the Lower Proterozoic age. The basic rocks in which the vermiculite is explored, tend to be highly altered and the vermiculite occur disseminated in the rock and also as veins and veinlets. The vermiculite is mined extensively and processed granulometrically in the region for variety of industrial uses. The deposit has an extension of approximately 2000m x 1500 m and the mineral is explored in various open pit mines. Due to highly irregular nature of the deposit the systematic mining is becoming difficult and costly. In this work an attempt has been made to define the nature of the deposit with variographic analysis. This study was carried out in two areas Cava Nova and Cava Piloto to examine the variation of the thickness of the deposit within a limited terrain. The thickness was determined through a total of 89 and 102 drill holes respectively that were distributed in a grid pattern. The thickness of vermiculite beds varies from a minimum of 0.85 m to a maximum of 19.39 m with a mean of 10.8 m in Cava Nova. In Cava Piloto the thickness varies from 0.84 m to 10.0 m with an average of 3.91m. The coefficient of variation obtained was 36,54% in Cava Piloto and 40.42 in Cava Piloto indicating a considerable variation in thickness. Variographic analysis of the thickness data obtained from drill holes showed an average variogram with a reasonably good structure without anisotropy. Variation in the sample pair distances helped improve the variogram structure. The variogram is an undulating curve with hole effect, reflecting the apparent pinch and swell nature of the deposit resulting from intrusives in the form of dykes and sills in the study area. The three dimensional model shows highly irregular nature of the deposit. and geometry of the deposit varies greatly, reflecting the apparent pinch and swell nature of the deposit resulting from intrusive in the form of dykes and sills in the study area and modified by structural deformation.

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1	– Mapa de Localização da Mina de Vermiculita de Queimada Nova	22
FIGURA 2	– Vista Geral das Instalações e Vegetação da Área.....	23
FIGURA 3	– Esboço Geológico da Região de Paulistana – Afrânio.....	26
FIGURA 4	– Mapa Metalogenético da Área.....	27
FIGURA 5	– Mapa Geológico da Área.....	28
FIGURA 6	– Zona de Transição Vermiculita – Flogopita.....	30
FIGURA 7	– Operação de Decapeamento da Lavra 01 Usando um Fiat AD 14 CS	38
FIGURA 8	– Lavra da Cava Piloto Vista Norte.....	39
FIGURA 9	– Pátio de Secagem.....	41
FIGURA 10	– Pátio de Secagem com Trator Fazendo Revolução e Blendagem	41
FIGURA 11	– Estoque de material para Período de Chuva.....	42
FIGURA 12	– Carregamento na Cava Nova Usando uma Carregadeira Michigan 55C.....	43
FIGURA 13	– Transporte do Minério Cava Nova - Pátio de Secagem, Vista Noroeste.....	44
FIGURA 14	– Vista frontal da Usina de Beneficiamento	45
FIGURA 15	– Representação da Função Variograma.....	58
FIGURA 16	– Malha de Furos da Cava Nova.....	66
FIGURA 17	– Histograma de Frequência da Espessura da Cava Nova	68
FIGURA 18	– Variograma Experimental da Espessura da Cava Piloto para $h=15,89$	70
FIGURA 19	– Variograma Teórico da Espessura da Cava Nova.....	71
FIGURA 20	– Histograma de Espessura da Cava Piloto	73
FIGURA 21	– Variograma Experimental Médio da Espessura Cava Piloto.....	74
FIGURA 22	– Variograma Experimental Final da Cava Piloto	74
FIGURA 23	– Variograma Teórico da Cava Piloto para um Alcance de 50m.....	75
FIGURA 24	– Variograma Teórico da Cava Piloto para um Alcance de 150m.....	76
FIGURA 25	– Cava nova com Vista Sudeste.....	78

FIGURA 26	– Cava Piloto com Vista Oeste.....	78
FIGURA 27	– Malha de Sondagem da Cava nova.....	81
FIGURA 28	– Perfil das Poligonais N-S e L-O da Cava Nova.....	82
FIGURA 29	– Modelo Jazida Cava Nova.....	83
FIGURA 30	– Corte Horizontal do modelo de blocos e sub blocos na cota 439 da Cava Nova.....	85
FIGURA 31	– Corte vertical do modelo de blocos no sentido E – W da Cava Nova.....	85
FIGURA 32	– Malha de sondagem da Cava Piloto.....	87
FIGURA 33	– Malha triangulada do corpo Cava Piloto.....	88
FIGURA 34	– Modelo Geométrico da Cava Piloto.....	89
FIGURA 35	– Corte horizontal do modelo de blocos e sub blocos na cota 439 da Cava Piloto.....	90
FIGURA 36	– Corte vertical do modelo de blocos no sentido N – S da Cava Piloto.....	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Grupo Geológico da Região de Paulistana – Afrânio.....	24
TABELA 2 - Classificação do Produto Final	45
TABELA 3– Classificação da Vermiculita pelo Produtor W.R Grace & CO.....	64
TABELA 4 – Estatística dos Dados da Cava Nova.....	67
TABELA 5 – Estatística dos Dados da Cava Piloto.....	72
TABELA 6 – Arquivo de Dados de Sondagem	79
TABELA 7 – Dimensões do Modelo de Bloco da Cava Nova	84
TABELA 8 – Dados do Modelo da Cava Nova Extraído do Datamine	86
TABELA 9 – Dimensões do Modelo de Bloco da Cava Piloto	90
TABELA 10 – Dados do Modelo da Cava Piloto Extraído do Datamine	91

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	15
1.1 ASPECTOS GERAIS	15
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.4 METODOLOGIA	19
CAPITULO II – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	21
2.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	21
2.2 CARACTERÍSTICA DA REGIÃO MASSAPÉ	22
2.2.1 Solo e Vegetação	22
2.2.2 Clima	23
2.3 GEOLOGIA	24
2.3.1 Geologia Regional	24
2.3.2 Geologia Local	27
2.4 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	31
CAPÍTULO III – LAVRA DA JAZIDA DE VERMICULITA	33
3.1 MÉTODO DE PESQUISA	34
3.1.1 Poços e Trincheiras	34
3.1.2 Amostragem	35
3.2 ASPECTOS ECONÔMICOS	35
3.2.1 Reserva	35
3.2.2 Produção	36

3.2.3 Consumo	37
3.3 MÉTODO DE LAVRA	37
3.3.1 Decapeamento da área	38
3.3.2 Extração	39
3.3.3 Secagem	40
3.3.4 Carregamento	42
3.3.5 Transporte	43
3.4 MÉTODO DE BENEFICIAMENTO	44
CAPITULO IV – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	46
4.1 HISTÓRICO DA VERMICULITA	46
4.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS (SOFTWARES) APLICADOS À MINERAÇÃO	49
4.2.1 Características Gerais	49
4.2.2 Software Datamine	50
4.2.3 Aplicações do Datamine	51
4.3 O MODELAMENTO GEOLÓGICO	53
4.4 A CIÊNCIA GEOESTATÍSTICA	54
4.4.1 O Variograma	57
4.4.2 Utilização da Geoestatística no Modelamento	61
4.5 USO DA VERMICULITA	61
4.6 CLASSIFICAÇÃO DO USO DE ACORDO COM A SUA GRANULOMETRIA	62
4.7 ESPECIFICAÇÕES DA VERMICULITA	63

CAPÍTULO V – ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	65
5.1 PROCEDIMENTOS GERAIS	65
5.2 CAVA NOVA	66
5.2.1 Análise Estatística	66
5.2.2 Análise variográfica	67
5.2.2.1 Variograma experimental	68
5.2.2.2 Variograma teórico	70
5.3 CAVA PILOTO	71
5.3.1 Análise estatística	71
5.3.2 Análise variográfica	72
5.3.2.1 Variograma experimental	73
5.3.2.2 Variograma teórico	75

CAPITULO VI – MODELAMENTO GEOLÓGICO E PLANEJAMENTO

 APLICADO À JAZIDA DE VERMICULITA	77
6.1 ASPECTO GERAL	77
6.2 SELEÇÃO DA ÁREA PARA MODELAGEM.....	77
6.3 BASE DE DADOS	79
6.3.1 Preparação da Base de Dados	79
6.3.2 Implementação dos Dados.....	79
6.4 ÁREA CAVA NOVA.....	80
6.4.1 Interpretação Geológica	80
6.4.2 Modelo Geométrico	82
6.4.3 Geração de Blocos.....	83
6.4.4 Avaliação do Modelo de Blocos	86

6.4.5 Cálculo de Reserva	86
6.5 CAVA PILOTO	86
6.5.1 Interpretação Geológica	86
6.5.2 Modelo Geométrico	88
6.5.3 Geração de Blocos	89
6.5.4 Cálculo de Reserva	91
6.6 PLANEJAMENTO DE MINA.....	92
CAPITULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
REFERÊNCIAS.....	95
ANEXOS	99

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A vermiculita é um aluminossilicato básico hidratado de magnésio, ferro e alumínio do grupo das micas. Contém pequena quantidade de cromo, manganês, fósforo, enxofre e cloro. Tem alta porosidade e baixa densidade. Apresenta estrutura cristalina micácea, lamelar com clivagem basal e contém cátions tocáveis em posições interlamelares. A estrutura cristalina comporta uma camada de molécula de água. A saída desta água por aquecimento rápido a uma temperatura elevada (até 1.100°C) provoca a esfoliação das palhetas. Tal processo denominado de expansão ou esfoliação pode provocar um aumento de até 30 vezes o volume original, ainda que o minério normalmente lavrado expanda em média de 8 a 12 vezes.

A vermiculita apresenta certas propriedades características das argilas, dentre as quais uma capacidade de troca iônica elevada, aptidão de formar complexos com substâncias orgânicas, uma distância variável entre as camadas da rede cristalina segundo a altura do cátion permutável. No seu estado natural, a vermiculita é fisicamente semelhante a outras micas, excetuando-se a propriedade de expansão. O produto expandido é de baixa condutividade térmica, acústica e elétrica, não se

decompõe nem se deteriora, não é prejudicial à saúde, é inodoro, pode absorver até cinco vezes o seu peso em água, é lubrificante e tem características necessárias aos materiais filtrantes. O silicato complexo que constitui a vermiculita tem sido analisado para melhor conhecimento de suas características. Sua composição química é muito constante nas diversas ocorrências, as diferenças estão na análise do concentrado pois normalmente há inclusões de outros minerais.

Segundo Souza Santos e Navajas (1981) a fórmula química da cela unitária de uma vermiculita típica é: $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6^{\text{VI}} (\text{Al}, \text{Si})_8^{\text{IV}} \text{O}_{20} (\text{OH})_4 \cdot \text{Mg}_{0,70} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

As placas que constituem a vermiculita têm espessura em torno de 9,3Å. Para se atingir a espessura de um milímetro são necessárias mais de um milhão dessas placas. As lamínulas individuais são constituídas por duas placas ligadas a uma placa central de íons divalentes positivos, predominantemente de magnésio, dispostas segundo a configuração octaédrica. Nas lamínulas predominam cargas negativas, em consequência da substituição das placas tetraédricas de íons trivalentes de alumínio por íons tetravalentes de silício. Essas cargas negativas das placas individuais são equilibradas pela presença de íons positivamente carregados, tais como Mg^{++} , Ca^{++} e K^+ que ocupam posições nas lamínulas. As ligações dos íons presentes no espaço entre as lamínulas são relativamente fracas, o que permite que tais íons sejam removidos e substituídos estequiometricamente, sem alteração da estrutura das lamínulas, o que explica a capacidade de troca de íons, característica da vermiculita.

O espaço entre as lamínulas é variável e, em grande medida, controlado pela natureza e pelo tipo das moléculas mantidas na região de separação das mesmas. No estado natural e sob pressão atmosférica normal, o espaço interlamelar é ocupado por água e é da ordem de 14,2 Å. Esta água interlamelar não está

submetida a ligações fortes podendo ser quase completamente removida por aquecimento moderado (105°C), distinguindo-se, assim, da água combinada que figura nas análises químicas de vermiculita. Quando há completa remoção da água, o espaçamento se retrai para cerca de 9,3 Å, que corresponde à espessura da lamínula.

Com a expansão dos cristais de vermiculita há formação de grandes poros entre grupos de lamelas, o que pode aumentar sensivelmente o volume de vazios sem alterar muito a área exposta das lamínulas. Se a temperatura de expansão for suficientemente elevada para provocar recristalização superficial, será até possível que o volume de vazios aumente, obtendo-se, ao mesmo tempo, diminuição de áreas das lamínulas individuais. A variação da relação volume de vazios e área de lamínulas é importante quando da aplicação da vermiculita como veículo de compostos químicos.

A vermiculita foi encontrada pela primeira vez em 1904, cujo nome foi proveniente da semelhança observada entre o movimento realizado pela substância ao se expandir e as contrações características dos vermes.

Empregada inicialmente para fins meramente decorativos, quando moída e expandida. Começou a ser explorada comercialmente em 1915 no Colorado (USA).

Em 1916, durante os trabalhos de prospecção de minérios de potássio e vanádio, foi descoberto em Libby Montana, o maior depósito de vermiculita até hoje conhecido no Estados Unidos. Em 1921 esse depósito começou a ser explorado em pequena escala de produção. Com a ampliação de suas aplicações o interesse pelo mineral aumentou sensivelmente, pois até final da década de 40, a produção situava-se em torno de 21 mil toneladas anuais.

Em 1937, no Distrito de Phalaborwa, na Colina de Loolekop, foi encontrado um minério dourado e quebradiço conhecido como *rotten mica*, minério identificado como vermiculita. A partir de então, a África do Sul revelou-se grande detentora de reservas, passando a assumir a segunda posição de maior produtora de minério de vermiculita do mundo.

O montante das reservas mundiais permanece inalterado, sendo que 90,0% estão situados nos Estados Unidos e África do Sul. No Brasil, as reservas oficialmente aprovadas, localizam-se nos Estados de Goiás, Paraíba, Bahia, e Piauí. Em 2000, a produção mundial está estimada em 550 mil toneladas, fornecida em grande escala pela África do Sul, que juntamente com Estados Unidos, produz cerca de 80,0% do total. A produção norte-americana estimada é de 175 mil toneladas. Argentina, Austrália, China, Egito, Índia, Japão, Quênia e Zimbábue são os outros países produtores. (SUMÁRIO MINERAL, 2001).

A EUCATEX Mineração do Nordeste S.A., operando no Estado do Piauí, foi a responsável pela parcela de 67,88% da produção interna de vermiculita beneficiada não-expandida (concentrado) no ano de 2001. (SUMÁRIO MINERAL, 2001)

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa básica do projeto dessa pesquisa está fundamentada no caráter de grande interesse econômico que a região de Queimada Nova representa para o estado do Piauí, visto que tal estado é um dos poucos produtores de vermiculita do Brasil.

Outra justificativa é a necessidade de um planejamento da mina para que possa otimizar a produção e indicar a seqüência ideal, e então ajudar na habilitação.

Devido os problemas encontrados no planejamento, se faz necessário saber que técnicas de lavra utilizar, até que profundidade se deve lavar o minério, sempre proporcionando a possibilidade de obter um maior aproveitamento, pelo menor custo, levando à otimização da atividade mineradora.

A geometria do corpo, associado à grande variação de teor, a distribuição heterogênea de teor e a estrutura complexa do corpo Massapé, tem tornado obrigatório o uso do controle informatizado e tratamento dos dados geológicos para assegurar informações confiáveis ao planejamento de lavra. Este trabalho mostra a metodologia aplicada e os resultados obtidos na criação do modelo geológico na jazida de vermiculita do Piauí.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho de dissertação é elaborar um modelo geológico da jazida de vermiculita da região de Queimada Nova no estado do Piauí, usando o programa de modelamento *Datamine* como ferramenta.

E em segundo lugar desenvolver e aprimorar técnicas de análise e tratamento dos dados, modelagem geológica e avaliação de recursos minerais, e fazer estimativa de reserva baseado nos modelos, dessa forma otimizando o seu planejamento.

A necessidade de um alto grau de conhecimento dos fatores que controlam a complexa estrutura do corpo Massapé fez com que houvesse a necessidade de implantação de um sistema especializado.

1.4 METODOLOGIA

Na presente pesquisa optou-se por um modelamento do geral para o particular. Em uma primeira etapa, selecionou-se uma grande área, visando o enquadramento geológico regional da jazida de vermiculita. Diante da complexidade do corpo geológico da mina Massapé se fez necessário dimensionar os trabalhos a serem desenvolvidos num setor da mina. Isso para comparar os dados gerados pelo *Datamine* com os dados reais de lavra, e para ser usado como ferramenta no planejamento. Seguindo esta linha de trabalho a frente de lavra Cava Nova e Cava Piloto foram escolhidas pôr possuírem características favoráveis e pôr estarem em lavra no momento.

A pesquisa envolveu as seguintes etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados, análise de dados, preparação da base de dados, aplicação de geoestatística, implementação dos dados no programa *Datamine*.

Na coleta de dados, foram integrados dados de furos de trado e de poços, dados de material do desmonte, mapas geológicos e mapas topográficos, utilizados pelo setor de planejamento da mina. Nas amostras desses dados, foram considerados a profundidade e sua respectiva granulometria.

Na análise foi feita uma seleção e interpretação dos dados. Cada furo foi analisado, cruzando os dados disponíveis dos mesmos.

A preparação da base de dados foi via digitação das amostras dos furos de interesse. Dados das amostras de 191 furos foram lançados, correspondentes as duas cavas, tendo sido os valores posteriormente validados através de processos estatísticos.

A implementação foi desenvolvida para as duas cavas, onde o modelo geológico foi gerado pelas seções verticais individualizadas e identificadas seqüencialmente.

Nas duas cavas foi realizado um estudo geoestatístico para validar os dados da jazida e expressar graficamente e matematicamente a variabilidade do corpo.

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

2.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A jazida de Vermiculita em estudo fica na localidade de Massapé, distrito de Queimada Nova, município de Paulistana, no sudeste do estado do Piauí, a 32 km de Afrânio. Apresenta as coordenadas: 9°24'00" S e 41°17'59" W.

O acesso pode ser realizado de duas maneiras: partindo-se de Teresina, percorre-se 324 km até Picos pelas BRs – 316/343. De Picos até Afrânio (PE), percorre-se 200 km pela BR – 407. Até o local da jazida chega-se através de estrada carroçável, numa extensão de 26 km. Partindo-se de Recife, percorre 512 km até Salgueiro pela BR – 232. De Salgueiro até Afrânio, percorre-se 370 km pela BR – 407 conforme a Figura 1.

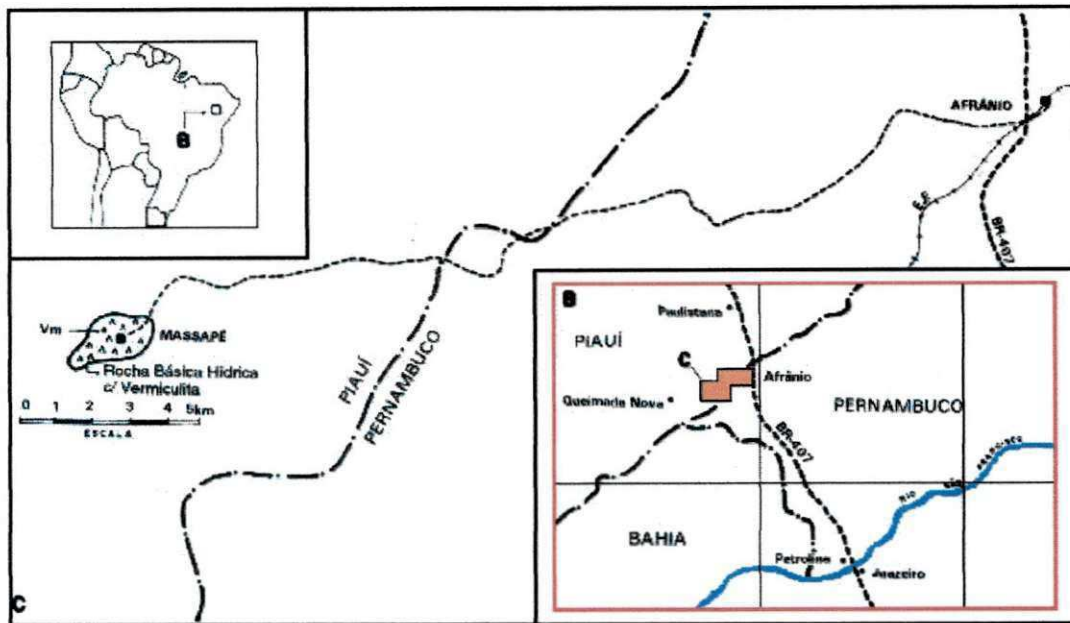


FIGURA 1 - Mapa de localização da mina de vermiculita de Queimada Nova – Piauí.
 FONTE: Principais depósitos minerais do Brasil – Volume IV - DNPM

2.2 CARACTERÍSTICA DA REGIÃO MASSAPÉ

2.2.1 Solo e Vegetação

A vegetação predominante no Piauí é a caatinga, de clima semi-árido, constituída de vegetais xerófilas (adaptadas a pouca umidade), de solos secos, rasos e pedregosos. Apresenta vegetais que acumulam água em seus caules durante o período chuvoso para poderem sobreviver no período de estiagem. Apresenta também árvores e arbustos com muitos galhos e de folhas pequenas. Aroeira, marmeleiro, xiquexique, mandacaru, pau-pereira, unha-de-gato e os cactos, são os vegetais típicos da região, Figura 2.



FIGURA 2 – Vista geral das instalações e vegetação da área.

2.2.2 Clima

O clima de maneira geral para a região sudeste do Piauí é o semi-árido, não tanto pela escassez de precipitações pluviométricas, mas principalmente devido à irregularidade destas e às temperaturas elevadas durante o ano.

A região apresenta temperaturas médias anuais que variam em torno de 31°C. Os índices pluviométricos giram em torno de 500mm anuais.

O clima semi-árido é caracterizado por duas estações distintas: a estação seca, representada por 6 a 9 meses de estiagem, que na região se desenrola geralmente de maio a novembro e a estação chuvosa, caracterizada por um período de chuvas irregulares de dezembro a abril.

2.3 GEOLOGIA

Admite-se que a origem dos depósitos vermiculíticos estaria vinculada a fenômenos hidrotermais que iniciaram o processo de vermiculitização, posteriormente completado por águas superficiais. Entretanto, com base em dados oriundos das áreas de lavra, acredita-se que a vermiculita esteja relacionada à alteração das micas flogopita e biotita pela lixiviação dos álcalis por processos meteóricos (PARENTE, OLIVEIRA, 1986). Na prospecção feita, constatou-se que com o aumento da profundidade surgem esses minerais em lugar da vermiculita.

2.3.1 Geologia Regional

A região de Paulistana – Afrânio que abrange a área da jazida de vermiculita é constituída por rochas pré-cambrianas indiferenciadas, arqueanas e proterozóicas (Tabela 1).

TABELA 1 – Grupo geológico da região de Paulistana – Afrânio.

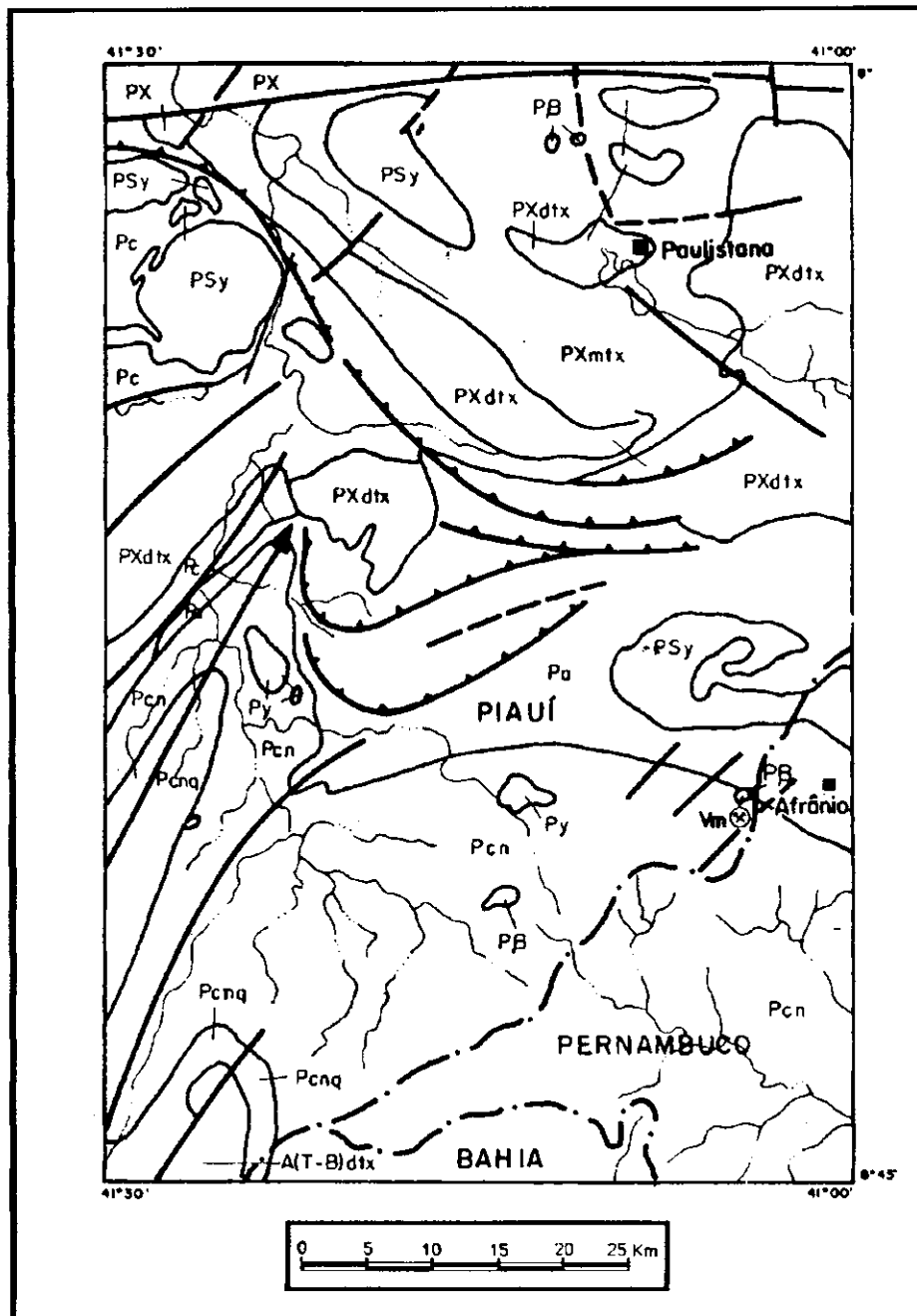
PROTEROZÓICO	Pβ – Unidade sem Denominação : gabros, anfíbolitos e ultrabásitos serpentinizados
	Psy – Granitóides : granitos, sienitos e álcali-granitos equigranulares e isotrópicos
	Pc – Grupo Cachoeirinha :
	Pa – Unidade Afrânio :
	Py – Unidade sem Denominação
	Pcn – Complexo Casa Nova – Salgueiro
ARQUEANO	A (T-B)dtx – Complexo Migmatítico – Granítico
PRÉ-CAMBRIANO INDIFERENCIADO	PX – Unidade sem Denominação: Metatexitos, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, micaxistos feldspáticos (Pxmtx), diatexitos graníticos e anatexitos (Pxdtx), metatexitos e diatexitos.

FONTE: Mapa Geológico do Estado do Piauí, DNPM/CPRM, 1982.

O Pré-Cambriano Não Diferenciado está representado por uma unidade sem denominação, constituída de metatexitos com paleossomas de biotita-gnaisses com ou sem muscovita ou hornblenda, anfibolitos, rochas calcissilicáticas e micaxistos feldspáticos, diatexitos graníticos (embrechitos facoidais) e anatexitos com raros enclaves de quartzitos recristalizados, e metatexitos e diatexitos, indiscriminados (Mapa Geológico do Estado do Piauí, DNPM/CPRM, 1982).

O Arqueano está representado pelo Complexo Migmatítico Granítico, constituído de diatexitos, principalmente de estruturas *schlieren* e nebulítica que gradam para tipos homofânicos, além de guardarem freqüentes restos de metatexitos.

O Proterozóico está representado pelas seguintes unidades: a) Complexo Casa Nova – Salgueiro com predominância de biotita-xistos granatíferos com ou sem muscovita; com quartzitos, metacalcários, metabasitos e anfibolitos; b) Unidade sem denominação constituída de granitos e granodioritos orientados e de contatos difusos; c) Unidade Afrânio com predomínio de quartzitos, com quartzo-micaxistos, clorita-biotita-muscovita-xistos por vezes granatíferos, filitos quartzosos e xistos metabasíticos, em percentagens acessórias; d) Grupo Cachoeirinha, constituído de filitos diversos, micaxistos finos e, subordinadamente, calcários, quartzitos e metabasitos; e) Granitóides – granitos, sienitos e álcali-granitos geralmente equigranulares e isotrópicos; f) Unidade sem denominação constituída de gabros, anfibolitos e ultrabasitos serpentinizados (Figura 3).



Vm - Mina de vermiculita

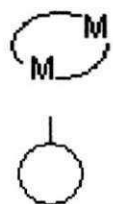
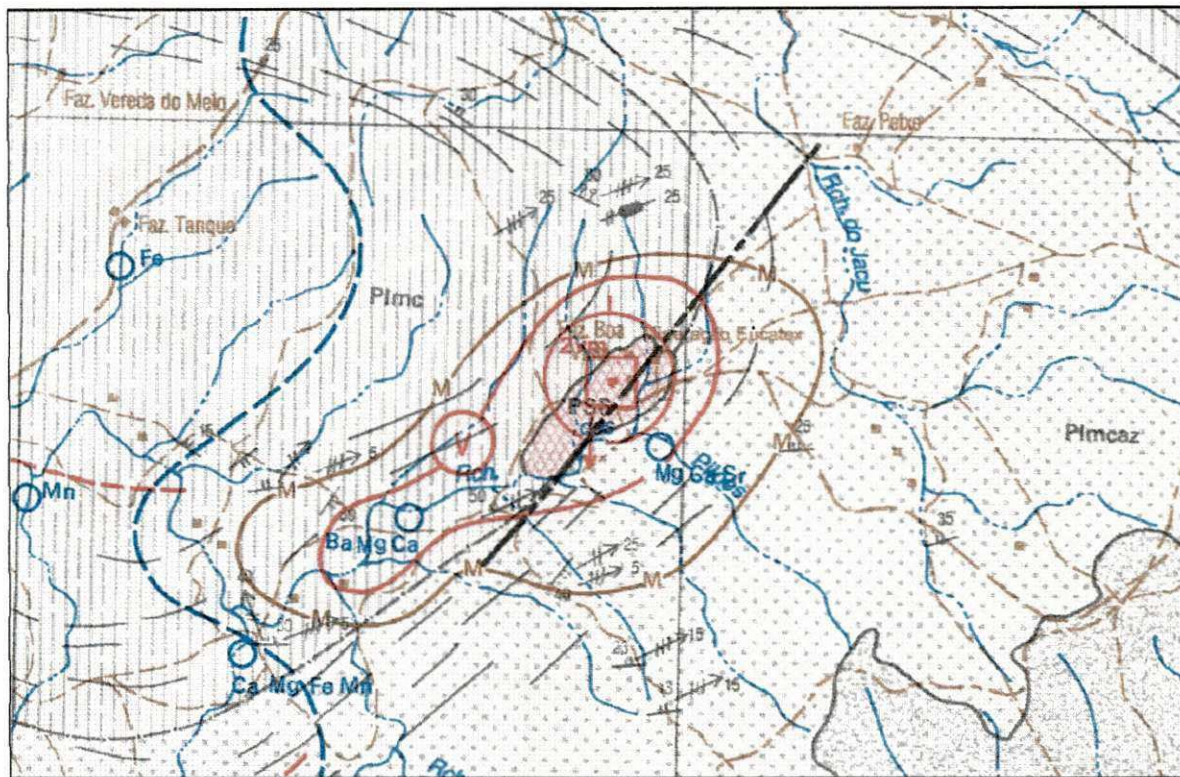
- Falha ou fratura maior, indiscriminada
- - - Falha ou Fratura maior, provável
- ▲— Falha de empurrão
- ~ Açude / Rio / Riacho

FIGURA 3 – Esboço geológico da região de Paulistana – Afrânio

FONTE: Mapa Geológico do Estado do Piauí, DNPM / CPRM, 1982

2.3.2 Geologia Local

A jazida de vermiculita está localizada na fazenda Massapé, é constituída por um corpo de rochas básico/ultrabásicos de forma aproximadamente elíptica com o eixo maior tendo aproximadamente 2.200 metros orientado na direção NE-SW. Essa direção é coincidente com falhamentos frágeis observáveis em imagem de satélite e fotografias aéreas, Figura 4.



Contorno de zonas de suscetibilidade magnética

Mina



Fratura de extensão na direção NE-SW

Mina de vermiculita em atividade

FIGURA 4 - Mapa metalogenético da área
 FONTE: CPRM - 1991

ESCALA 1:100.000

Esse corpo é admitido como intrusivo em xistos granatíferos, xistos gnaissificados e migmatitos que compõem o Grupo Salgueiro sendo correlacionados a um magmatismo pós-orogênico, de idade Eo-cambriana.

As rochas vermiculíticas, que constituem o minério, são caracterizadas mineralogicamente por diversas associações de flogopita-vermiculita, piroxênio (diopsídio), anfibólio (hornblenda), hidrobiotita, alcalifeldspato e quantidade subordinadas de quartzo, apatita, titanita, turmalina e calcita, (Figura 5). Observa-se um zoneamento vertical entre vermiculita-flogopita. Há o incremento de flogopita (rocha de cor verde escura bastante alterada), com o aumento da profundidade em detrimento das quantidades de vermiculita. Em muitos locais, é possível identificar magnetita finamente disseminada.

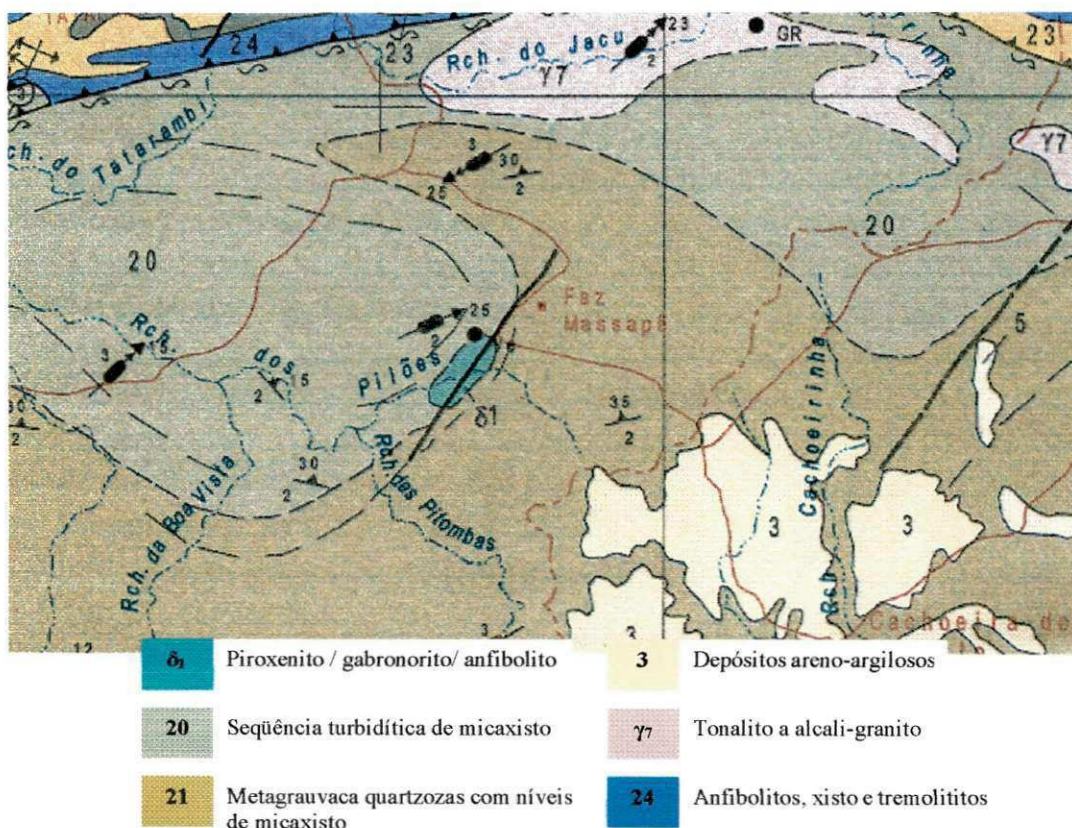


FIGURA 5 - Mapa geológico da área
 FONTE: CPRM - 1997

ESCALA 1:250.000

Esses jazimentos ocorrem principalmente sob a forma de bolsões e veios mineralizados nas proximidades dos contatos com as injeções pegmatóides. Nestes veios aparecem os mesmos minerais que os da rocha, embora com teores menores. A vermiculita surge como grandes placas de cor amarela a verde – bronze, atingindo proporção da ordem de 60%, enquanto anfibólio e piroxênio em cristais bem desenvolvidos atingem 30%, biotita, caulim e quartzo perfazem os 10% restantes. Enquanto nos veios pegmatóides a vermiculita apresenta granulação grossa constituindo livros que podem ter espessuras superiores a 10 centímetros, na rocha básica ela possui granulação fina.

O corpo ultramáfico é formado por rochas ricas em anfibólio flogopita, que apresentam em uma seqüência vertical, tipos gradativamente transicionais, predominando respectivamente os termos vermiculíticos e flogopíticos nas partes inferiores e superiores do depósito. Desta maneira caracterizando três zonas distintas: Zona I – Vermiculita; Zona II – Transição; Zona III – Flogopita, conforme é visto na Figura 6. Este zoneamento representa quanto de flogopita se transformou ou está se transformando em vermiculita por alteração provocada por água meteórica. (FERNANDES, 1982).

A Zona II é onde melhor se observa o fenômeno de alteração, sendo encontradas micas com uma composição intermediária entre flogopita e vermiculita, facilmente reconhecíveis.

Na Zona I (zona mineralizada) existem os tipos petrográficos: rocha vermiculítica, rocha vermiculítica – flogopita e rocha flogopítica, com predominância da rocha vermiculítica (vermiculita anfibólito) diferenciada quanto aos aspectos texturais e origem, sendo uma correspondente a rocha primária com alterações de

flogopita em vermiculita e a outra relacionada a soluções hidrotermais preenchendo zona de fraqueza.

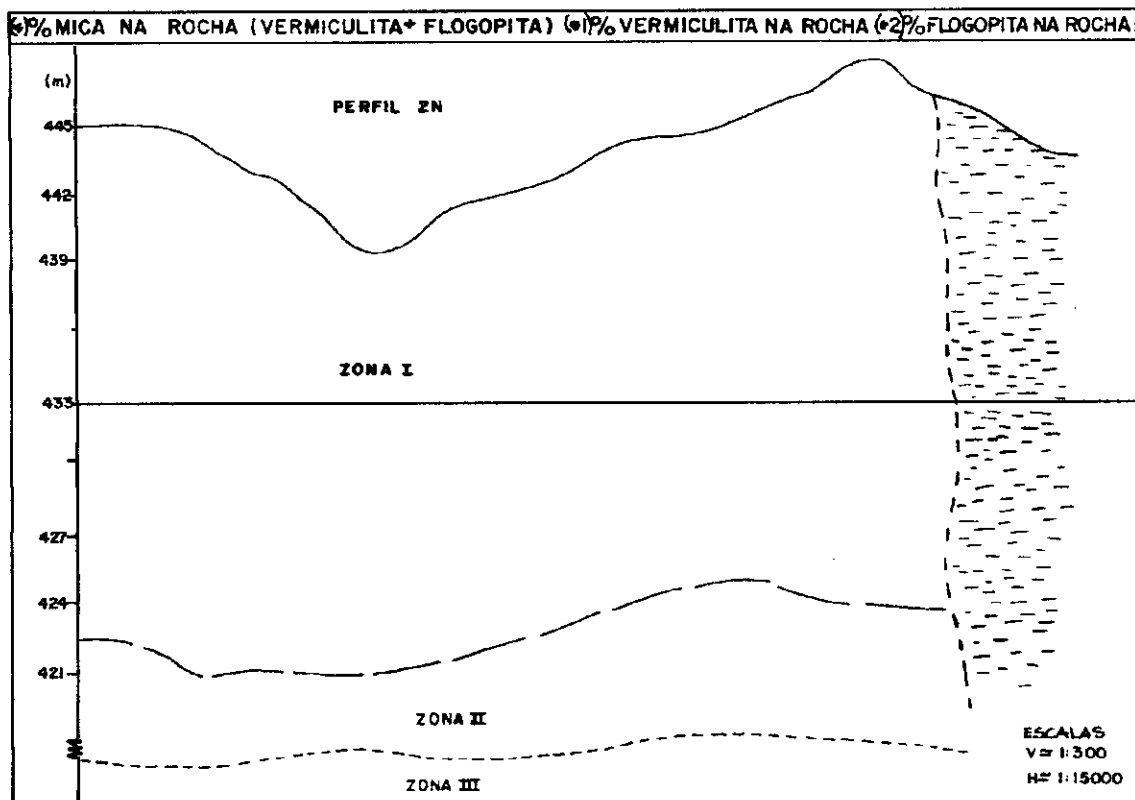
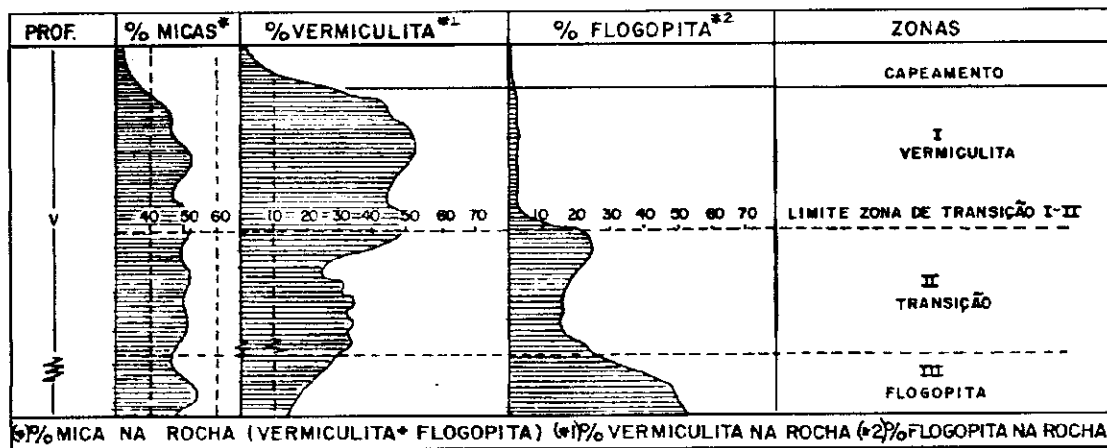


FIGURA 6 – Zona de transição vermiculita - flogopita

Normalmente as rochas relacionadas à fase hidrotermal têm granulações grosseira e ocorrem preferencialmente como:

- veios com espessura de 5 a 12 metros, profundidade conhecida de 50 m, extensão de até 500 m, orientados na direção NE-SE e mergulhos verticais. Aspectos notados nas partes centrais do corpo (lavra 2 e 3) e na lavra Piloto.
- veios médios (espessura até 1 m) e mergulhos subverticais para o norte. São melhores observados na lavra 1.
- veios pequenos (espessura até 50 cm) com pequena continuidade lateral enriquecido em vermiculita, associado ao mesmo padrão de fraturamento dos veios médios. São encontrados nas partes mais centrais do corpo.
- bolsões irregulares desde decamétricos a centimétricos, geralmente associados aos veios maiores.

A área foi palco de várias fases de deformação, reconhecendo fenômenos de transposição, redobramento, falhamentos e fraturamentos. (FERNANDES, 1982).

2.4 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Os aspectos sócio-econômicos estão diretamente ligados às diversidades climáticas inerentes à área e se caracterizam por uma pecuária extensiva – onde predomina a criação de caprinos e uma agricultura de subsistência, com o plantio, entre outros, de mandioca, feijão, milho e algodão. Salienta-se que o cultivo é feito por pequenos agricultores que ainda utilizam métodos rudimentares, de baixa eficiência. A atividade extrativa mineral é limitada atualmente: à mina de vermiculita no distrito de Queimada Nova; pedras semipreciosas em garimpagens intermitentes; blocos de granito para construção civil; e, calcário/mármore para fabrico de cal.

No tocante ao setor de saúde e educação, as carências são evidentes, existindo nos núcleos urbanos, quando muito, uma unidade hospitalar posto médico,

e escola de primeiro e segundo graus. O abastecimento de água é feito através de barragens e açudes públicos.

O Piauí é um Estado cuja economia ainda é periférica no âmbito nacional, sendo demasiadamente isolada dos demais Estados brasileiros.

Devido principalmente às condições de semi-aridez, a região de Queimada Nova no sudeste do Piauí apresenta as mais críticas condições de subdesenvolvimento.

CAPÍTULO III

LAVRA DA JAZIDA DE VERMICULITA

Os bens minerais não são renováveis na escala de tempo humana, logo o aproveitamento dos mesmos deve ser feito de maneira racional, objetivando obter a recuperação máxima das jazidas. As jazidas minerais tiveram suas formações ditadas por leis da natureza que nem sempre estão de acordo com as necessidades empresariais. As distribuições de variáveis representativas da qualidade como granulometria, teor e quantidade de estéril a remover dificultam ou até inviabilizam o aproveitamento econômico de um depósito mineral. Daí a importância da utilização de programas, que nos sirvam de ferramentas nas atividades a serem desenvolvidas na mineração. O trabalho desenvolvido no Projeto de uma lavra a céu aberto através do *Software Datamine*, modelou uma jazida de vermiculita em uma mina a céu aberto, localizada no Estado do Piauí. Através da utilização do modelamento da jazida em blocos, o *Datamine*, permite um planejamento e um sequenciamento da lavra, dando uma visualização do aspecto final da cava resultante da exploração do minério.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

Na pesquisa da vermiculita, como na de qualquer outro mineral, busca-se delimitar a forma do corpo e definir o minério quantitativo e qualitativamente, através da realização de trabalhos básicos.

A pesquisa mineral do depósito de vermiculita de Paulistana foi elaborada por meio de sondagens, que buscaram definir a extensão das ocorrências, possança do corpo mineral e espessura do capeamento da jazida. Estas sondagens constituíram-se de poços regularmente espaçados e trincheiras rasas. A fim de delimitar com precisão a extensão da ocorrência foram feitos cerca de 400 (quatrocentos) poços e mais de uma dezena de trincheiras.

Seguindo-se à prospecção, ao levantamento topográfico e ao mapeamento geológico da área, é feita pesquisa diária com base nos dados existentes. E ainda hoje, a pesquisa é normalmente conduzida por meio de abertura de uma linha mestra central na direção leste-oeste e, perpendicularmente à mesma, são abertas picadas, aonde são realizadas sondagens que se constituem de poços regularmente espaçados de 20 em 20 metros e com até 3 metros de profundidade, e trincheiras rasas que permitam delimitar com razoável precisão a extensão da ocorrência e o seu teor granulométrico.

3.1.1 Poços e Trincheiras

A abertura dos poços, além de possibilitar a cubagem de certa quantidade de vermiculita superficial, proporcionando assim uma reserva medida capaz de viabilizar o depósito, técnica e economicamente, permite também uma melhor

amostragem do material, proporcionando volume suficiente para testes qualitativos de expansão das várias frações granulométricas.

Normalmente os poços e trincheiras da jazida de Paulistana, são abertos com auxílio de escavadeira, já que o material é escarificável.

Nos locais onde surge a vermiculita com uma granulometria grossa, os poços são aprofundados até o limite inferior do depósito. Nestes locais são abertas trincheiras nas direções NS e EW a fim de delimitar a área de ocorrência.

3.1.2 Amostragem

A perfeita amostragem, de afloramentos e escavações, é fator preponderante na elaboração de uma pesquisa e de um bom plano de lavra do depósito.

As amostras coletadas em todos os poços que possuem a ocorrência de vermiculita são subdivididas de acordo com a sua granulometria. Assim, o material caracterizado como micro é aquele em que as placas de vermiculita têm comprimento menor que 0,5 milímetros.

3.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

3.2.1 Reserva

O montante das reservas mundiais permanece inalterado, sendo que 90,0% estão situados nos Estados Unidos e África do Sul. As medidas indicadas de vermiculita no Brasil montam a 16,4 milhões de toneladas e respondem por 8,2 %

das reservas mundiais. No Brasil, as reservas oficialmente aprovadas, localizam-se nos Estados de Goiás, Paraíba, Bahia, e Piauí.

A reserva geológica de Queimada Nova está próximo de 500.000 toneladas de vermiculita e a reserva lavrável de 200.000 toneladas. Esse último valor corresponde a quantidade de vermiculita passível de ser extraída técnica e economicamente.

3.2.2 Produção

Na jazida de Paulistana são produzidos 04 (quatro) tipos de vermiculita, conforme classificação granulométrica da empresa: médio, fino, superfino, e micro.

Em 2000, a produção mundial foi de 550 mil toneladas, fornecida em grande escala pela África do Sul, que juntamente com Estados Unidos, produz cerca de 80,0% do total. A produção norte-americana estimada é de 175 mil toneladas. Argentina, Austrália, China, Egito, Índia, Japão, Quênia e Zimbábue são os outros países produtores. (SUMÁRIO MINERAL, 2001).

A EUCATEX Mineração do Nordeste S.A., operando no Estado do Piauí, foi a responsável pela parcela de 67,88% da produção interna de vermiculita beneficiada não-expandida (concentrado) no ano de 2001. (SUMÁRIO MINERAL, 2001)

A produção brasileira no ano de 2002 foi de 00000000 toneladas de vermiculita bruta enquanto que o Piauí (Paulistana) produziu no mesmo ano 000000 toneladas, representando 00% da produção total.

3.2.3 Consumo

A Eucatex, até o ano de 2001 extraía principalmente para consumo próprio, só comercializando o excedente e, geralmente, para o mercado externo.

No ano de 2002 foi exportado 40% da produção, ou seja, 4440 toneladas de material beneficiado, o restante é destinado a abastecer fábrica de substrato agrícola e de isolantes térmicos do grupo Eucatex.

As reservas brasileiras, garantem os especialistas, têm grande vantagem em relação às de outros países exportadores por não conterem amianto, cujo uso vem sendo condenado no mundo inteiro.

3.3 MÉTODO DE LAVRA

A mina de Queimada Nova é explorada através do método de lavra a céu aberto, onde se cria uma depressão na área até formar bancadas.

O sistema de produção adotado na lavra da vermiculita é relativamente simples. A extração e todo o carregamento do minério é executado de maneira integrada.

O fundo da cava tem sua cota teórica definida, tendo como limite o mineral flogopita.

O desenvolvimento das operações de lavra consiste nas seguintes operações: desmatamento e remoção da cobertura, extração da vermiculita, carregamento e transporte.

3.3.1 Decapeamento da área

Ao iniciar uma nova frente de lavra é feita a remoção do solo de cobertura da área que vai se lavrada, consistindo em desmatamento e retirada do capeamento, como é visto na Figura 7. A sua espessura media é de 1,5m, quando nas áreas próximas à rede de drenagens pode atingir até 3m.



FIGURA 7 - Operação de decapeamento da lavra 01 usando um Fiat AD 14 CS

O capeamento é constituído geralmente por solo, argila e rochas intemperizadas, facilmente escarificável, oferecendo condições para ser removido com trator Fiat AD 14 CS e uma escavadeira hidráulica Komatsu PC 150, com produção de 70 m³/8 horas e 120 m³/8 horas respectivamente. Caminhões basculantes fazem o transporte desse material até o bota-fora.

3.3.2 Extração

Por se tratar de uma substância mineral de baixa dureza, placosa e fácil fragmentação, não há necessidade do uso das operações de perfuração e desmonte por explosivos. O desmonte mecânico é executado por escavadeira, o que permite maior rapidez nos serviços, maior produção diária, obtendo-se melhor controle de qualidade da frente de serviço, permitindo uma extração constante dos vários tipos de vermiculita (granulometria diferente) necessários para a produção dos diversos tipos comerciais, Figura 8.



FIGURA 8 – Lavra da Cava Piloto vista norte

A extração é feita em cava aberta, onde se cria uma depressão na área até formar bancadas com largura média (berma) de 5,0 m e talude de 15° e bancadas

com altura máxima de 4,0 metros, permitindo assim operação de equipamentos de desmonte e transporte.

O minério retirado da frente de lavra é transportado por caminhões basculantes até o pátio de secagem, fator referencial de produção do setor de lavra. Após a secagem e blendagem o material é transportado para um pátio de estoque.

3.3.3 Secagem

São 03 pátios de secagem em uso no momento, com capacidade de armazenamento aproximado de 30 carradas cada um, ou seja, 240 toneladas de material, que garante 14 horas de funcionamento da usina.

A Figura 9 mostra o material vindo da frente de lavra e espalhado formando filas em camadas finas, onde um trator Valmet 78 faz revolvimento e a blendagem na Figura 10. O tempo de exposição solar varia em função do vento, da umidade do minério e do trabalho das máquinas. A máxima umidade permitida na alimentação da usina é de 2%.



FIGURA 9 – Pátio de secagem de numero 4 com caminhão basculando material



FIGURA 10 - Pátio de secagem de numero 6 com trator Valmet 78 fazendo revolução e blendagem

No período chuvoso a produção da lavra é zero. Para atravessar essa fase é feita uma grande pilha de material seco coberto por lonas plásticas, ao lado da usina, Figura 11.

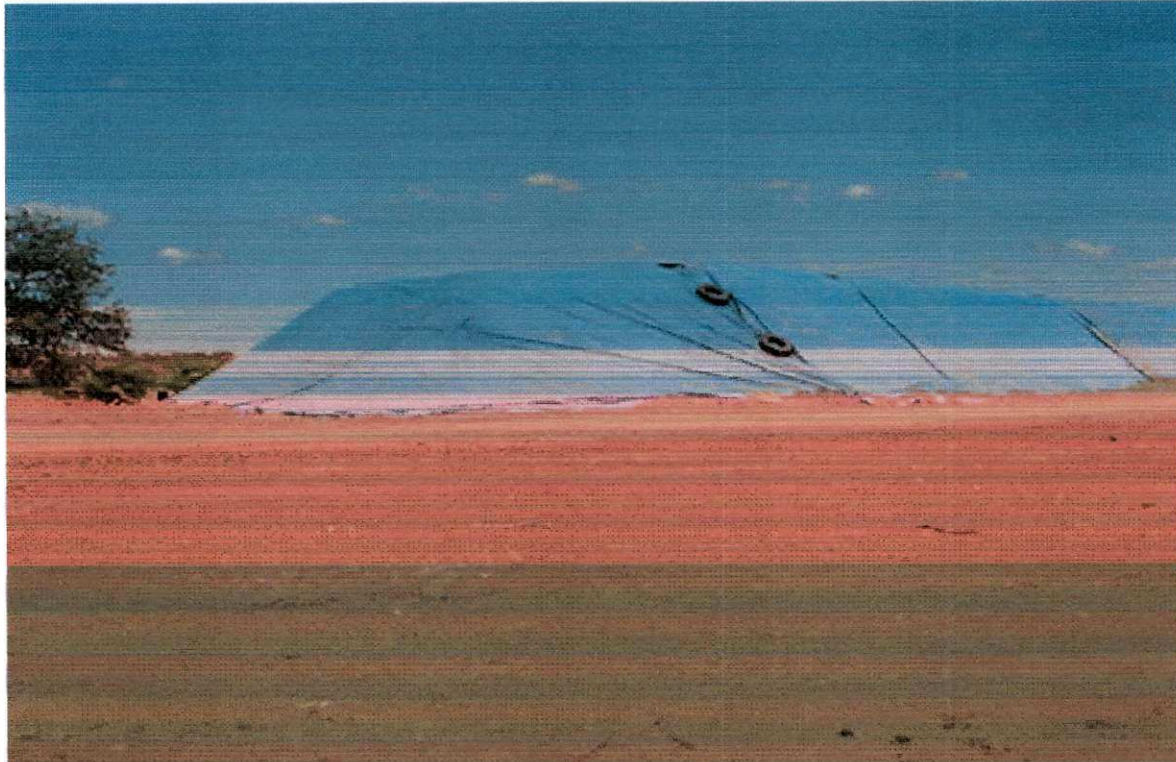


FIGURA 11 - Estoque de material para período de chuva

A usina trabalha 24 horas/dia com 02 turnos de revezamento de 12 horas, exigindo assim do setor de lavra uma atenção constante no sentido da produção atender a demanda de alimentação.

3.3.4 Carregamento

É realizado com uma escavadeira Komatsu 150 CS ou com uma carregadeira Michigan 55C sobre rodas, vista na Figura 12, com capacidade de 0,86 m³ e 2,00 m³ respectivamente.



FIGURA 12 - Carregamento na Cava Nova usando uma carregadeira Michigan 55C

3.3.5 Transporte

O transporte do minério é feito por caminhões basculantes MB caçamba de 6 m³. É feito da frente da lavra até o pátio de secagem e deste até a usina por estradas não-pavimentadas e sem medidas de controle de poeira, Figura 13.



FIGURA 13 – Transporte do minério da Cava Nova para o pátio de secagem, vista noroeste

3.4 MÉTODO DE BENEFICIAMENTO

O beneficiamento de vermiculita da Eucatex é feito pelo processo via seco. Seguindo as fases de secagem, peneiramento, britagem e separação pneumática.

Após a secagem o material é trazido do pátio de secagem por caminhões e descarregado em um silo com capacidade de 14 toneladas. Por gravidade o minério do silo passa em uma grelha de ferro, onde ocorre a eliminação de blocos com dimensões inadequadas para a usina de beneficiamento. O minério que passa na grelha cai em um alimentador vibratório que permite manter constante a taxa de alimentação da usina. O minério passa em uma peneira vibratória de três *decks* com abertura de 8,2mm e 5mm. O oversize do primeiro deck alimenta um moinho de martelo. O undersize do primeiro deck mais o oversize do segundo deck, alimenta a

peneira vibratória-2 de três decks com abertura de 4,2mm e 1mm. Os oversize dos três decks são depositados em silos diferentes com capacidade de 20 toneladas cada. A Figura 14 mostra uma vista frontal da usina.

Com uma capacidade instalada de alimentação de 160.000 toneladas/ano, a usina tem uma taxa de alimentação de 17 t/h com teor médio de vermiculita no minério de 22%.



FIGURA 14 – Vista frontal da usina de beneficiamento

Na etapa final do processo são obtidos os produtos finais, assim classificados:

TABELA 2 – Classificação do produto final

Característica	Retido(mm)	Passante(mm)	Concentração(%)
Grande	8,03	5,72	90 - 98
Médio	5,72	1,91	84 - 96
Fino	1,91	1,13	82 - 94
Superfino	1,13	0,50	80 - 92
Micron	0,50	0,36	80 - 90

CAPITULO IV

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 HISTÓRICO DA VERMICULITA

A vermiculita foi encontrada pela primeira vez em Worcester Massachusetts por Thomas H. Webb no ano de 1904, cujo nome foi proveniente da semelhança observada entre o movimento realizado pela substância ao se expandir e as contrações características dos vermes.

Empregada inicialmente para fins meramente decorativos, quando moída e expandida. Começou a ser explorada comercialmente em 1915 no Colorado (USA), na mina de Chaffee Country pela Denver Mining & Manufacturing Co.

Em 1916, durante os trabalhos de prospecção de minérios de potássio e vanádio, foi descoberto em Libby Montana, o maior depósito de vermiculita até hoje conhecido no Estados Unidos. Em 1921 esse depósito começou a ser explorado em pequena escala de produção. Com a ampliação de suas aplicações o interesse pelo mineral aumentou sensivelmente, pois até final da década de 40, a produção situava-se em torno de 21 mil toneladas anuais.

Em 1937, no Distrito de Phalaborwa, na Colina de Loolekop, foi encontrado um minério dourado e quebradiço conhecido como *rotten mica*, minério identificado

como vermiculita. A partir de então, a África do Sul revelou-se grande detentora de reservas, passando a assumir a segunda posição de maior produtora de minério de vermiculita do mundo.

No Brasil desde 1933 já se observava a ocorrência, na mina de níquel de Liberdade – MG, de um mineral micáceo de cor esverdeada ou parda escura considerado até então como "clorita alterada". Somente em agosto de 1942, visitando a jazida em companhia do geólogo Willian T. Pecora do serviço geológico dos Estados Unidos, é que o mineral foi reconhecido como sendo vermiculita. Amostras foram enviadas ao laboratório do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), para serem observadas e analisadas, confirmando assim a opinião do geólogo.

A primeira jazida de vermiculita a ter registro de concessão de Lavra no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) foi a de Congonhal, no Município de Tatuí Estado de São Paulo.

Segundo Melo (1997) a exploração de vermiculita de Queimada Nova, no Estado do Piauí vem sendo exercida pelo Grupo Eucatex através de duas áreas: Área I (DNPM 817.845/71); Decreto de Lavra nº 78249) e Área II (DNPM 807.886/77 de 18/03/77).

O trabalho de T. Janer (1982) tornou possível o reconhecimento em profundidade do corpo de minério de Queimada Nova, e certamente orientou a confecção de mapas extremamente úteis quanto à indicação de dados sobre espessura de minério vermiculítico.

Costa Filho & Feitosa (1992) ao mapearem na escala de 1/32.500 também correlacionaram o corpo com os mapas regionais de Gomes (1990) e Sampaio

(1990) de modo que assinalaram o posicionamento do minério no contato entre duas unidades xistosas encaixantes.

O contato geológico supra separa um granada – biotita – muscovita – xisto sotoposto e um granada – muscovita – biotita – clorita – xisto, sendo comum a presença de injeções subconcordantes de turmalinito no tipo de posição estrutural mais inferior (MELO, 1995).

Estudos microscópicos apontam para a presença de mica branca como retrometamorfismo de cianita, cuja associação com granada aponta para nível estrutural mais profundo (COSTA FILHO e FEITOSA, 1992).

Segundo Costa Filho e Feitosa (1992), a área esteve submetida ao metamorfismo no fácies anfibolito médio, isógradas da granada – biotita (com presença de cianita), associado com tectônica tangencial, seguindo-se retrometamorfismo até o fácies xisto-verde aparentemente estimulado por uma tectônica transcorrente exclusiva.

Oliverio (1982) chama à atenção para a potencialidade de reservas para este tipo de minério, susceptível de alcançar dezenas de milhões de toneladas de minério e aborda a limitação da sondagem, então existente, principalmente quanto à profundidade e distribuição.

Oliverio (1982) aborda também o efeito da cominuição durante a sondagem como limitador à interpretação e utilização dos dados obtidos por aquela ferramenta de prospecção e a necessidade de estabelecerem-se relações entre as granulometrias naturais e as resultantes de cominuição.

Fernandes (1983) denomina de Complexo Ultramáfico de Massapê ao corpo de piroxenitos de forma aproximadamente elipsoidal, alongado NE-SW, cujo eixo maior mede cerca de 2,2 Km e cuja área de exposição alcança 125 hectares.

Os trabalhos de Melo (1995, 1996) apontam para a existência de enriquecimento descendentes dos teores de vermiculita no minério, quando se comparam os dados estatísticos de teor médio nas diversas bancadas.

Costa Filho & Feitosa (1992) e Calheiros (1992) introduziram a técnica de mapeamento de detalhes em parte da Cava Piloto e puderam dividir o minério em três tipos petrográficos: flogopita-diopsídio-piroxenito (metamáfica grossa de cor preta a marrom escura) e metamáfica xistosa fina. Embora predomine generalizadamente o último tipo os dois outros são importantes pelas chances de "blendagem" que oferecem à lavra e o aproveitamento econômico do depósito.

Afirma também Costa Filho & Feitosa (1992) e Calheiros (1992), ficou explicitado que o minério foi deformado e estruturado segundo estilo aplicativo polifásico compativelmente com as rochas xistosas encaixantes.

Batista e Hounye (1995) in Melo (1995), mapearam nos setores Lavra Cinco, Guarita, e Piloto e expressaram superfícies S vinculadas com transposições de charneiras de dobras isoclinais e cisalhamento superimpostos.

4.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS (SOFTWARES) APLICADOS À MINERAÇÃO

4.2.1 Características Gerais

Software de mineração é um termo usado para descrever os sistemas informatizados, utilizados em operações mineiras, responsáveis pelo manuseio e processamento de informações que passam pela topografia, geologia, aspectos geotécnicos, e análise química; e que podem gerar modelos muito próximos do real,

em tempo reduzido e com natureza dinâmica (CARANNASSIOS, 1993 e 1999, in KALVELAGE, 2000). Isso significa que esses programas podem ser facilmente re-alimentados com informações atualizadas, tão logo essas se tornem disponíveis, obtendo-se novos modelos e aproveitando-se ao máximo os benefícios da informatização (KALVELAGE, 2000).

De acordo com SILVA et al. (1998), existem no mercado diversos *softwares* mineiros que possibilitam o modelamento em 3 dimensões para descrever corpos geológicos, a confecção de modelos numéricos do terreno, planejamento em 3 dimensões de uma cava de mina otimizada, visualização especial dos furos de sondagem, entre outros, além de poderosas ferramentas geoestatística para um melhor modelamento da jazida mineral fornecendo-nos um grande entendimento. O *software Datamine* é um deles e foi escolhido por uma série de razões, entre elas a disponibilidade do programa pelo Departamento de Mineração e Geologia – DMG. (SARMENTO, 2002).

4.2.2 *Software Datamine*

Segundo DE TOMI (1990) citado por SARMENTO (2002), o sistema *Datamine* é um *software* integrado de mineração, que tem-se desenvolvido na Inglaterra desde 1981 para aplicações técnicas, envolvendo desde a pesquisa geológica, até o planejamento de mina. O usuário do sistema tem condições de executar análises e processamento de dados de pesquisa geológica, estimativa de reservas para qualquer tipo de depósito mineral e planejamento de minas a céu aberto ou subterrânea.

No Brasil o *software Datamine* está sendo usado desde o início da década de 90 do século XX, em 1992, foi realizado pela Universidade de São Paulo – USP, 1º Encontro técnico de treinamento e usuários do sistema *Datamine*, evento que é realizado todos os anos.

O programa *datamine* tem sido referência em software de mineração durante anos. E seu uso apresenta crescente aplicação na mineração, e têm tido grande aceitação na comunidade geoestatística, tendo uma interface com diversos programas (GOPINATH et al., 2003).

O *software Datamine* é amplamente divulgado por diversas empresas de mineração. A Mina do Guajú – Mataraca – PB é uma das empresas de mineração onde esse *software* foi implementado para o modelamento e lavra (RÉ, 2002). Ele faz algumas considerações e recomendações para a melhoria dos trabalhos executados durante a implementação do sistema em mina de minerais pesados de titânio em dunas de areia no litoral norte da Paraíba.

O *Datamine* é um software utilizado em mineração que reúne inúmeras ferramentas computacionais capazes de representar com fidelidade as características do campo

4.2.3 Aplicações do *Datamine*

Exploração: entrada de dados, estatística, edição de sondagens, modelamento geológico: O *Datamine* proporciona um conjunto de comandos para entrada e manipulação de dados associados há um amplo nível de capacidades estatísticas, gráficas e de processamento, especialmente projetados para dados geológicos e de mineração. Sondagem com qualquer orientação e com variações de

azimute e inclinação, são facilmente manejados, podendo combinar dados com diferentes intervalos da amostra (*Datamine, 2002*)

Geoestatística, Modelamento de blocos, Avaliação de reservas: O

Datamine usa uma combinação de modelamento "Wireframes" (para superfícies e estruturas, etc.) e modelos de blocos para representar com exatidão estruturas geológicas e as variações de teores em uma jazida. As ferramentas para o modelamento de wireframes incluem um conjunto algoritmos e operações booleanas que permitem combinar e dividir grupos de wireframes. Uma vez modeladas as estruturas, o Datamine pode converter as wireframes em modelo de bloco. O Datamine proporciona um amplo número de métodos de interpolação, tanto estatístico, como geoestatístico, incluindo técnicas para o desdobramento de estruturas complexas. (*Datamine, 2002*)

Planejamento de mina a céu aberto: É uma atividade que está associada à produção de matérias primas minerais. Portanto, o planejamento de lavra pode e deve ser executado sobre um modelo adequado da jazida, com a devida análise de reservas e recursos. Isto inclui georeferenciamento, definição de volumes, qualidades e quantidades (DE TOMI; AZEVEDO; CHAUSSON, 2000). Planejamento de longo prazo consiste em tomar um modelo de jazida e convertê-lo em uma série de pits, complementemente planejados, que maximizam o valor presente líquido da mina, levando em conta os requerimentos e restrições da produção. (*Datamine, 2002*). O planejamento de lavra é uma atividade com natureza dinâmica e cíclica. Somente com a repetição e a contínua análise de resultados é que se pode alcançar o

aprimoramento adequado de sua execução (SENHORINHO, N. C. S.; DE TOMI, G. F. C, 2000).

Segundo Ré (2002) no planejamento de lavra, onde os dados devem ser de qualidade e precisos, a confiabilidade nas informações é de extrema importância para a tomada de decisões que resultam na execução adequada dos processos envolvidos.

É justamente nessa contínua análise de resultados que reside um dos mais importantes problemas do planejamento de lavra, pela grande quantidade de informações envolvidas. (AZEVEDO, 2002).

4.3 O MODELAMENTO GEOLÓGICO

De acordo com Senhorinho (2001) o modelamento é uma forma de representar a realidade através de um modelo simplificado dos principais atributos do que se quer representar. Na indústria mineral, o que normalmente se pretende controlar com o modelamento é a qualidade, quantidade, valor, distribuição espacial do bem mineral, dos aspectos geomecânicos das rochas, dos contaminantes. A natureza geológica do material a ser lavrado é o ponto de partida para a otimização da lavra e estimação das reservas. O uso de modelos para o inventário mineral pode ser bastante variado, portanto é necessário uma visão clara da função pretendida para o modelo antes de planejar a sua construção.

O modelamento é um desenho tridimensional da jazida – e entorno – da mina, aliado a um banco de dados sobre os tipos litológicos, que podem aparecer no desenho separado por cores (AZEVEDO, 2002).

No modelo geológico voltado para a avaliação de reservas o que se modela, na realidade, são as características geológicas que possam ter impacto econômico no projeto. A definição dessas características e a precisão das informações influenciarão diretamente todos os estudos subseqüentes como os custos de lavra e beneficiamento (SARMENTO, 2002).

Um modelo pode ser obtido a partir de dados de sondagem (DE TOMI in AZEVEDO, 2002) e do modelo topográfico da região – através do uso de um *software* específico, como o *Datamine*. Para isto, em geral, determina-se seções – ou cortes – verticais, que são realizados paralelamente ao eixo Z (referente às cotas), ou horizontais, que são realizados perpendicularmente ao eixo Z, “cortando” o corpo de minério em diferentes posições. A forma deste corpo em cada seção é desenhada a partir de interpretações dos furos de sondagem – que devem estar alinhados ao longo das seções para melhor precisão e maior facilidade de interpretação. Em seguida, os contornos obtidos nas seções são unidos para a criação de um modelo sólido do corpo geológico.

4.4 A CIÊNCIA GEOESTATÍSTICA

A ciência “Geoestatística” abrange um conjunto de técnicas ou ferramentas úteis na resolução de problemas geológico-mineiros, ao servir de auxílio na determinação do cálculo de reservas e no controle e planejamento de lavra.

De uma forma geral, a metodologia geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado.

O desenvolvimento e a aplicabilidade partiram da formulação teórica do engenheiro de minas George Matheron, no final da década de 50 e início da década de 60, vindo a se tornar um moderno critério científico indispensável para interpretações e análises de grande parte dos fenômenos naturais.

Estes métodos estão fundamentados na Teoria das Variáveis Regionalizadas, que foi formalizada por Matheron, a partir de estudos práticos desenvolvidos por Daniel G. Krige no cálculo de reservas nas minas de ouro do Rand na África do Sul.

Existem diferenças distintas entre a chamada geoestatística e a Estatística Clássica. De acordo com Ingram (1997), a Estatística Convencional diferencia-se da geoestatística, fundamentalmente, por estar baseada na razão de variáveis independentes e não esboçarem continuidade e não reservarem extensão para cada valor. Enquanto, a geoestatística faz oposição ao assumir que os pontos contíguos sejam alto-correlacionados espacialmente entre si.

As técnicas da estatística clássica assumem que todas as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples - esta suposição é chamada estacionaridade. Sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das amostras ou do relacionamento entre amostras. Já a geoestatística assume que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para todo o depósito, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos. Em outras palavras, diferenças nas variáveis devem ser consistentes, não constantes, para o depósito - hipótese intrínseca ou quase-estacionariedade (CLARK, 1979 in SARMENTO, 2002).

Para Guerra (1988), a geoestatística fornece uma série de instrumentos de modo a se obter o melhor proveito da informação disponível, sem contar, na resolução de problemas típicos em diferentes etapas de um projeto mineiro, tais

como: seleção de áreas, controle de amostragem, prospecção mineral, otimização e acompanhamento da lavra, e inclusive monitoramento e controle ambiental.

Os estudos geoestatísticos partiram da necessidade de respostas as indagações provenientes da estatística clássica ou convencional. Assim, os constantes problemas relacionados entre a estatística e a geologia foram sanados, no que diz respeito a compreensão do comportamento espacial assumido pelas Variáveis Regionalizadas. Trata-se de uma variável (espessuras, profundidades, teores, etc.) que descreve um fenômeno natural, com aparente continuidade e caráter aleatório, ao assumir independente valor numérico em cada ponto no espaço.

Partindo do princípio que os fenômenos naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios, surgiu a necessidade de encontrar novas ferramentas matemáticas que permitissem estudar de modo sistematizado as Variáveis Regionalizadas.

Nesses tipos de trabalhos, tenta-se conciliar as características essenciais das Variáveis Regionalizadas, aos chamados aspectos aleatórios e espaciais, que no campo dos fenômenos naturais significam ser a localização, continuidade, anisotropia e transição.

Os dados geológicos exigem para sua análise as posições relativas das amostras, ou seja, as suas respectivas coordenadas geográficas, apropriadamente coletadas em malhas regulares, nas áreas selecionadas supostamente favoráveis, a partir de estudos bibliográficos, índices geológicos, anomalias geoquímicas, etc.

É sabido que, amostras extraídas de um depósito mineral podem atingir até certa zona de influência. Para David (1977) significa ser a influência que cada

amostra pode alcançar a certa distância variando, ou não, de acordo com uma determinada direção.

Deraisme (1998) in Tuma (1999), afirma que a geoestatística não pode ser ignorada quando o negócio se trata de avaliação de reservas, hoje em dia, usada por um grande número de companhias de exploração em diferentes estágios de produção. As empresas estão necessitando de mais informação quanto a quantidades de reservas e sua relação com o limite do teor de corte. Isto é chamado de suporte de informação e de restrição, não sendo mais um grande mistério, já que o conhecimento das técnicas de geoestatística vem sendo divididos pela comunidade científica.

A geoestatística dispõe de um instrumento matemático básico por constituir significativo avanço na abordagem dos problemas de estimação e um considerável revelador de estruturas mineralizadas, trata-se da função “Variograma”.

O significado dessa ferramenta, para David (1977) inicia com a idéia de estimação e problemas de variabilidade, tendo como função, revelar diversas feições geológicas de importância para avaliações dos depósitos minerais, bem como suas continuidades, tamanhos e formas da zona de influência em torno de uma amostra.

4.4.1 O Variograma

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). O variograma (Figura 15) trata-se de um gráfico que esboça a variabilidade média entre as amostras e a distância entre elas. Como já se conhece, os variogramas são computados pelas médias das diferenças

quadradas entre o número de pares N de amostras pelas suas distâncias h (NOBLE, 1992).

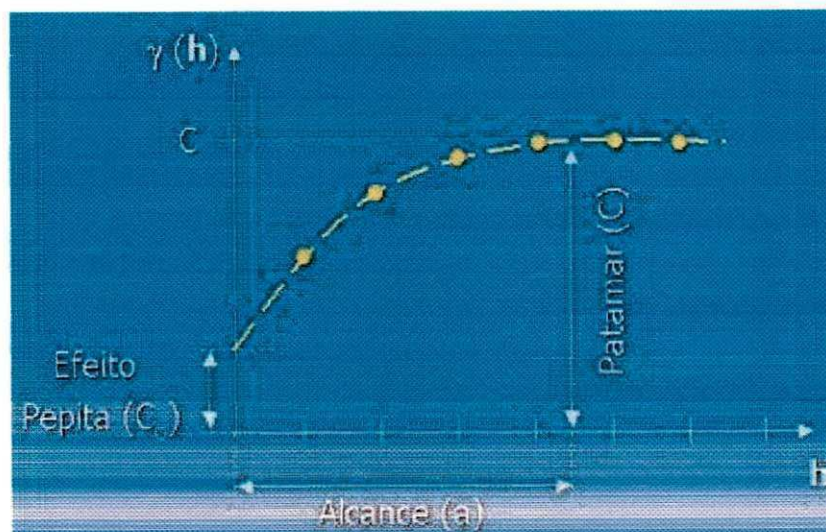


FIGURA 15 - Representação da Função Variograma

Existem três tipos de variogramas a saber: Experimental, Teórico e o Verdadeiro. O variograma Experimental ou Observado, é o único conhecido por que provém do conjunto de amostras obtidas durante a amostragem. O variograma que melhor se ajusta ao variograma experimental, e que a partir dele se realiza inferências em relação ao variograma verdadeiro, é conhecido como variograma teórico. E o dito variograma verdadeiro é aquele variograma real do depósito, matematicamente correto, sendo para nós desconhecido.

Durante o estudo variográfico tenta-se chegar ao variograma teórico que mais se ajusta com o variograma experimental, pois desta maneira, pode-se realizar inferências diante um possível variograma real. Entre os modelos teóricos conhecidos estão os Variogramas: Esféricos, Exponencial, Parabólico, Logarítmico e Linear.

No processo de ajuste de variogramas teóricos a variogramas experimentais, utilizou-se a forma matemática teórica mais empregada na mineração a nível mundial e o mais comum de todos os modelos, o Modelo Esférico, também denominado Modelo Transitivo ou de Matheron. Esse esquema teórico apresenta como principais características, um crescimento rápido na origem e presença de patamar ($C_0 + C$), correspondendo o lugar onde o variograma experimental se estabiliza.

De acordo com Journel & Huijbregts (1978), a expressão matemática dessa função de distribuição pode ser representada como:

$$\lambda(r) = C_0 + C \left\{ \frac{3}{2} \frac{r}{a} - \frac{1}{2} \frac{r^3}{a^3} \right\}, \quad \forall r \in [0, a]$$
$$1 = \text{patamar}, \quad \forall r \geq a$$

onde:

r = distância

C_0 = efeito pepita

C = Patamar

a = área de influência

Essa função é caracterizada por três grandezas principais:

Amplitude (a) indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória. É a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes. Em outras palavras, a amplitude reflete o grau de homogeneização entre as amostras, ou seja, quanto maior for a amplitude maior será a homogeneidade entre as amostras. Nesse

sentido, conforme Matheron (1971), o variograma dá um significado preciso da noção tradicional de zona de influência. A amplitude (a) é a distância que separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes). Obtém-se esse valor traçando uma perpendicular na região onde o variograma experimental se estabiliza, em seguida, lê-se no eixo h o valor do alcance.

Efeito Pepita (C_0) é o valor da função variograma na origem ($h=0$). Teoricamente esse valor deveria ser zero, pois duas amostras tomadas no mesmo ponto ($h=0$) deveriam ter os mesmos valores; entretanto quando não é assim, atribui-se, esta diferença, geralmente, a erros de amostragem e/ou análise. Como os erros analíticos são desprezíveis, com os equipamentos disponíveis atualmente, o efeito pepita deve-se a erros de amostragem devido a variabilidade natural do depósito; O efeito pepita também é chamado de variância aleatória. Esse parâmetro é obtido pela intercessão da reta inicial com o eixo das ordenadas $\lambda(h)$.

Variância Espacial (C). é dada pela diferença entre a variância a priori e o efeito pepita. É obtido de $C = (C_0 + C) - C_0$.

Deraisme e Fouquet (1996), afirmam que a qualidade nos resultados depende muito mais da análise dos dados (em particular cabendo ao modelo variográfico do fenômeno) do que as etapas seguintes de Krigagem e Simulação geoestatística.

Senhorinho (2001), demonstra que a realização de um estudo variográfico correto não é tarefa simples, a alteração de parâmetros na elaboração do variograma experimental como o ângulo e a distância de tolerância do azimute e do dip ou a alteração no tamanho e tolerância do passo, pode levar a resultados muito diferentes sobre um mesmo grupo de dados.

4.4.2 Utilização da Geoestatística no Modelamento

Segundo Senhorinho (2001) a análise geoestatística a exemplo da análise estatística dos dados deve ser feita em duas fases: a primeira, antes do modelamento, para ajudar a definir as litologias e as faixas de teores que deverão ser modeladas; a segunda, após o modelamento, para definir os parâmetros geoestatísticos finais do modelo geológico/mineral visando a sua utilização na estimativa por IQD ou Krigagem.

A utilização da geoestatística no software Datamine é discutida detalhadamente por Ribeiro e Amorim (1995). A aplicação geoestatística é executada sobre o minério da Mina de Tamanduá, Minas Gerais, os autores concluem dizendo que o programa Datamine atende as necessidades da empresa para estimativas uni-variadas.

4.5 USO DA VERMICULITA

Devido às suas propriedades, tais como: baixa densidade, baixa condutividade térmica e acústica, caráter quimicamente inerte, elevada capacidade de absorção de líquidos, etc., a vermiculita é uma substância de inúmeras aplicações em diversos ramos da atividade humana. É utilizada quase que exclusivamente da forma expandida. De suas aplicações podem ser vistas na: construção civil, agricultura e indústria.

Graças a sua porosidade, de onde provém suas características isolantes, a vermiculita se torna um material extremamente leve. É utilizada com outras substâncias para reduzir peso de lajes, paredes outros elementos estruturais, com a

vantagem extra de se obter um bom isolamento térmico tanto contra o frio como contra o calor ambiente, diminuindo não só o peso das estruturas como a energia para ar condicionado ou calefação.

4.6 CLASSIFICAÇÃO DO USO DE ACORDO COM A SUA GRANULOMETRIA

Com a expansão dos cristais de vermiculita há formação de grandes poros entre grupos de lamelas, o que pode aumentar sensivelmente o volume de vazios sem alterar muito a área exposta das lamínulas. Se a temperatura de expansão for suficientemente elevada para provocar recristalização superficial, será até possível que o volume de vazios aumente, obtendo-se, ao mesmo tempo, diminuição de áreas das lamínulas individuais. A variação da relação volume de vazios e área de lamínulas é importante quando da aplicação da vermiculita como veículos de compostos químicos.

Classificação dos principais usos da vermiculita de acordo com suas especificações granulométricas:

(12,7mm) 20 *meshes*

- ♦ isolantes térmicos e acústicos, argamassa para revestimento, caldeiras e tipos refratários.

(0,84 – 0,42mm) 20 a 40 *meshes*

- ♦ isolantes térmicos para automóveis, avião, carros, frigoríficos; filtros destinados ao tratamento de resíduos radioativos; leitos no topo de caçambas para evitar a oxidação do metal fundido.

(0,42 – 0,12mm) 40 a 120 *meshes*

- ♦ linóleos, coberturas, marquises, dielétrico para quadros de controle.

(0,12 – 0,074mm) 120 a 200 *meshes*

- ♦ graxas lubrificantes, plásticos, produtos de borracha (pneus).

(0,074 – 0,053mm) 200 a 270 *meshes*

- ♦ tintas aumento de viscosidade de óleos, papelão a prova de fogo.

(0,053mm) 270 *meshes*

- ♦ extensor de tintas de ouro e bronze.

4.7 ESPECIFICAÇÕES DA VERMICULITA

A denominação vermiculita é empregada para designar o argilomineral com características determinadas. Seja expandida ou não.

O termo vermiculita concentrada, caracteriza o mineral depois de beneficiado e classificado. O produto expandido é chamado de vermiculita expandida, mantendo a mesma composição química, apenas com a perda de água.

Tomando por base o seu peso aparente, a vermiculita é classificada pelo produtor mundial, a empresa norte-americana W.R Grace & CO., da seguinte maneira:

TABELA 3 – Classificação da vermiculita pelo produtor W.R Grace & CO

Tipo	Densidade(Kg/m ³)	Granulação (Peneira Tyler)	Tamanho Máximo Aproximado (mm)
1	48-112	3 a 10	6,7
2	48-128	8 a 14	2,4
3	80-144	10 a 35	1,6
4	96-160	28 a 65	0,6
5	128-176	Acima da 65	0,4

CAPÍTULO V

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

A partir de dados de sondagem da mina EUCATEX, foi realizado com auxílio do *software* Datamine e GEOEAS, uma estimativa geoestatística de 02 (duas) cavas dentro da área do minério de vermiculita.

A base de dados é constituída pôr 89 furos na Cava Nova e 102 furos na Cava Piloto.

5.1 PROCEDIMENTOS GERAIS

Os corpos do minério foram individualizados conforme denominação já existente na mina, Cava Nova e Cava Piloto.

Os dados utilizados no estudo são relativos a profundidade do minério nas amostras de sondagem.

5.2 CAVA NOVA

5.2.1 Análise Estatística

As sondagens foram efetuadas com um trado mecânico (Mach FS 4000) e uma sonda roto - percussiva marca Wabco Hולםaster 1250, utilizando martelo pneumático com diâmetro externo de 6", com circulação direta de ar comprimido (Método Dow-the-Hole). A análise usou um total de 89 furos distribuídos em uma área de amostragem de 300 x 250 m (Figura 16). Esse trabalho ajudou na delimitação da dimensão do depósito e a sua espessura.

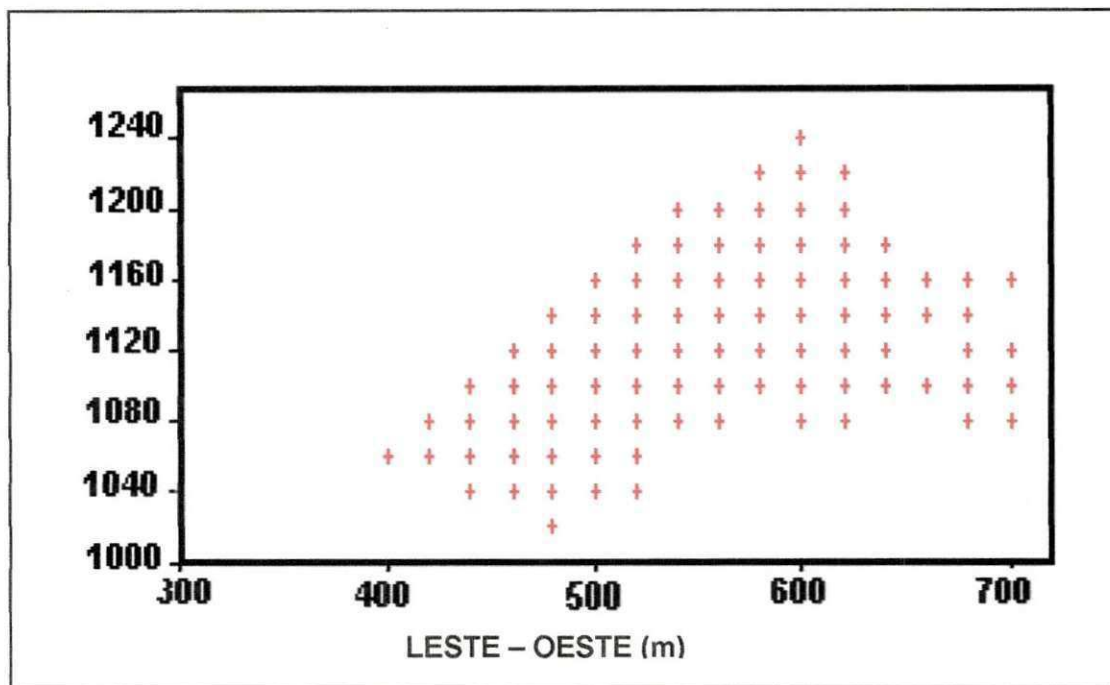


FIGURA 16 – Malha de furos da Cava Nova

Os furos foram alocados de forma regulares, em intervalos de 20 metros. Esse tipo de malha nos dá um melhor dimensionamento da reserva.

Os dados de sondagem foram convertidos em txt para o uso do *software* Geoeas. Uma análise estatística preliminar foi feita anteriormente à análise variográfica.

Inicialmente, o *software* forneceu uma análise estatística básica, fundamental para se conhecer o tipo de distribuição dos dados disponíveis. A Tabela 4 resume os resultados estatísticos destas variáveis.

TABELA 4 – Estatística dos dados da Cava Nova

Estatística	Resultados
Numero de dados	89
Média	10,8
Desvio padrão	3,95
Variância	15,58
Coefficiente de variação	36,54
Grau de assimetria	-0,469
Curtose	2,69
Espessura Mínima	0,85m
Espessura Máxima	19,39m

5.2.2 Análise variográfica

A espessura da vermiculita varia de um mínimo de 0,85 m a um máximo de 19,39 m, com média de 10,8 m e variância de 15,58 (Tabela 4). O coeficiente de variação obtido foi de 36,54 %, mostrando irregularidade na variação da espessura no depósito. As camadas de espessura fina são mais frequentes e há uma concentração maior das camadas variando de 7 a 15 m na jazida da Cava Nova, (Figura 17).

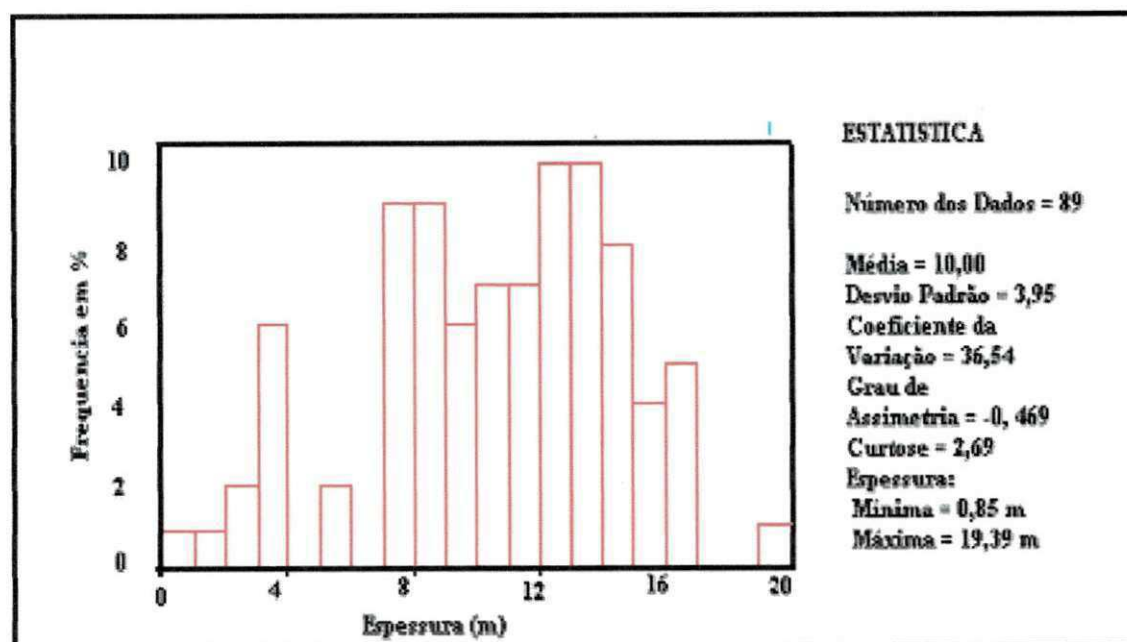


FIGURA 17 – Histograma de frequência da espessura da Cava Nova

A frequência de distribuição da espessura é altamente multimodal mostrando alta variação e natureza irregular de depósito. Devido essa natureza irregular da espessura observada no depósito, um modelamento tri-dimensional das variáveis espessuras e granulometria de vermiculita, foi feito um modelo tri-dimensional para compreender a geometria do depósito para lavra a céu aberto.

5.2.2.1 Variograma experimental

A elaboração do variograma e outros cálculos foram feitos utilizando o software GEOEAS de Englund & Sparks (1988). Os parâmetros de estatísticas básicas foram calculados e acompanhado de histogramas para definir a natureza da população, e em seguida é feita a análise variográfica. A elaboração de variograma

foi conduzida considerando todas as direções de amostragem com objetivo de verificar a existência de anisotropia na variação da espessura do depósito.

A análise variográfica dos 89 dados amostrais da espessura de vermiculita obtidas de furos de sondagens conseguiu elaborar um variograma médio mostrando estrutura razoável sem anisotropia (Figura 18). O variograma médio foi obtido para o incremento de 19,58 m, contendo mistura de mais de um modelo variográfico. Também demonstra que há variação espacial boa na espessura da vermiculita da Cava Nova.

Foram feitas várias tentativas para investigar a natureza da estrutura variográfica, variando distancia entre pares de amostras, direção e tolerância. Não foi observada mudanças na estrutura variográfica em função de direção. Demonstrando assim que variação espacial da espessura é anisotrópico. Enquanto a variação de distancia entre pares de amostras ajudou melhorar o variograma. A distancia de 14 m entre pares de amostras resultou em variograma com boa estrutura mostrado na figura 18.

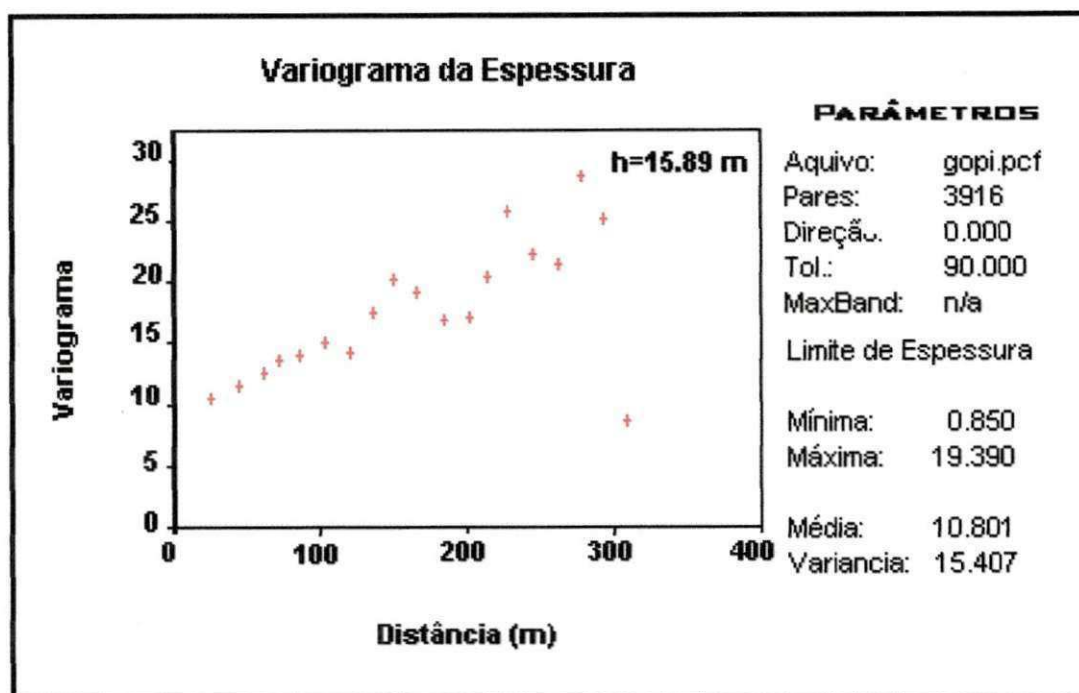


FIGURA 18 – Variograma experimental da espessura da Cava Nova para $h=15,89$

O variograma para 14 m é uma curva ondulada com efeito de buraco (*efeito Trou*), característico de um depósito com a espessura de forma *Pinch and Swell* (lenticular), resultado de rochas intrusivas de forma diques e silles. Ainda, o variograma tem forma ascendente interrompidas (forma de escada) típica de mistura de vários modelos variográficos, a saber, um depósito que sofreu diferentes processos durante a sua formação.

5.2.2.2 Variograma teórico

O variograma experimental foi ajustado para se ter um teórico, conseguindo um melhor resultado, quando utilizado os seguintes parâmetros: C_0 (efeito pepita) = 7,5 ; C (variância espacial) = 8,8 e alcance (área de influencia) = 125 m. A linha indica o ajuste ao modelo esférico.

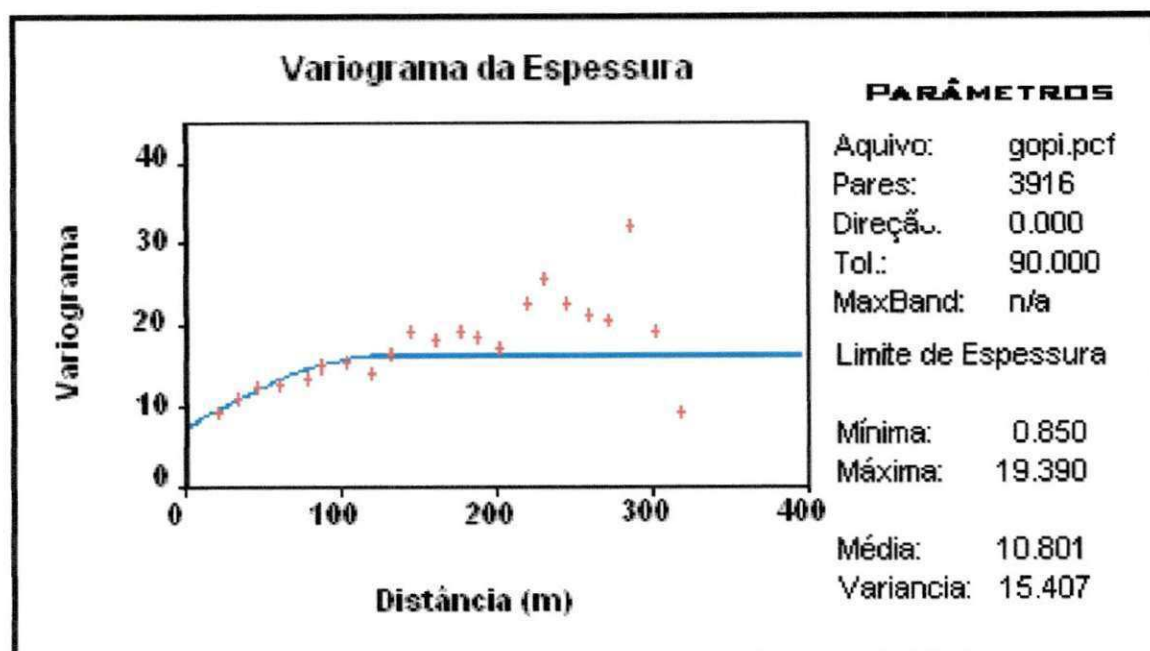


FIGURA 19 – Variograma teórico da espessura da Cava Nova

5.3 CAVA PILOTO

Um estudo geoestatístico da Cava Piloto também foi efetuado para observar a variação espacial da espessura nesta sub área.

5.3.1 Análise estatística

A análise usou um total de 102 furos distribuídos em uma área de amostragem de 240 x 180 m. No sentido de compreender melhor as características dos dados a serem modelados, um estudo preliminar foi feito sobre a análise variográfica. O banco de dados, contendo as informações disponíveis provenientes dos furos e amostras de frente de lavra, referente à área estudada, foi inicialmente

analisado estatisticamente, visando, principalmente, caracterizar as distribuições amostrais. A Tabela 5 mostra os resultados.

TABELA 5 – Estatística dos dados da Cava Piloto

Estatística	Resultados
Numero de dados	102
Média	3,91
Desvio padrão	1,62
Variância	2,62
Coefficiente de variação	41,42
Grau de assimetria	1,39
Curtose	5,39
Espessura Mínima	0,84m
Espessura Máxima	10,0m

5.3.2 Análise variográfica

Os limites estatísticos superior e inferior foram analisados juntamente com a distribuição de frequência. A espessura da vermiculita varia de um mínimo de 0,84 m a um máximo de 10,00 m, com média de 3,9 m e variância de 2,62 (Tabela 5). O histograma da frequência de ocorrência da espessura mostrando uma forma multimodal juntamente com o valor do coeficiente de variação obtido, demonstra irregularidade na variação da espessura no depósito da Cava Piloto (Figura 20).

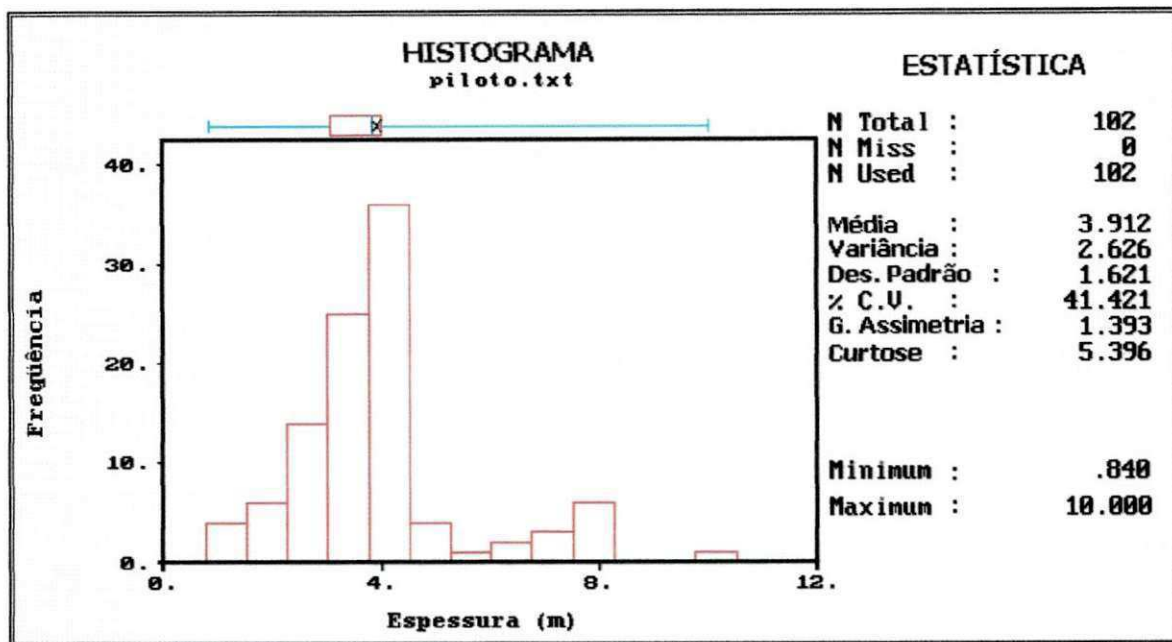


FIGURA 20 – Histograma da espessura Cava Piloto

5.3.2.1 Variograma experimental

Os passos foram os mesmos utilizados na Cava Nova. Os variogramas experimentais foram calculados a partir do conjunto de amostras derivadas da amostragem realizada.

Foram feitas várias tentativas para investigar a natureza da estrutura variográfica, variando distancia entre pares de amostras, direção e tolerância. Não foi observada mudança na estrutura variográfica em função de direção, demonstrando assim que variação espacial da espessura é anisotrópico. Enquanto a variação de distancia entre pares de amostras ajudou melhorar o variograma (Figura 21 e 22). A estrutura variográfica melhorou muito para o $h=18,0$ m (Figura 22).

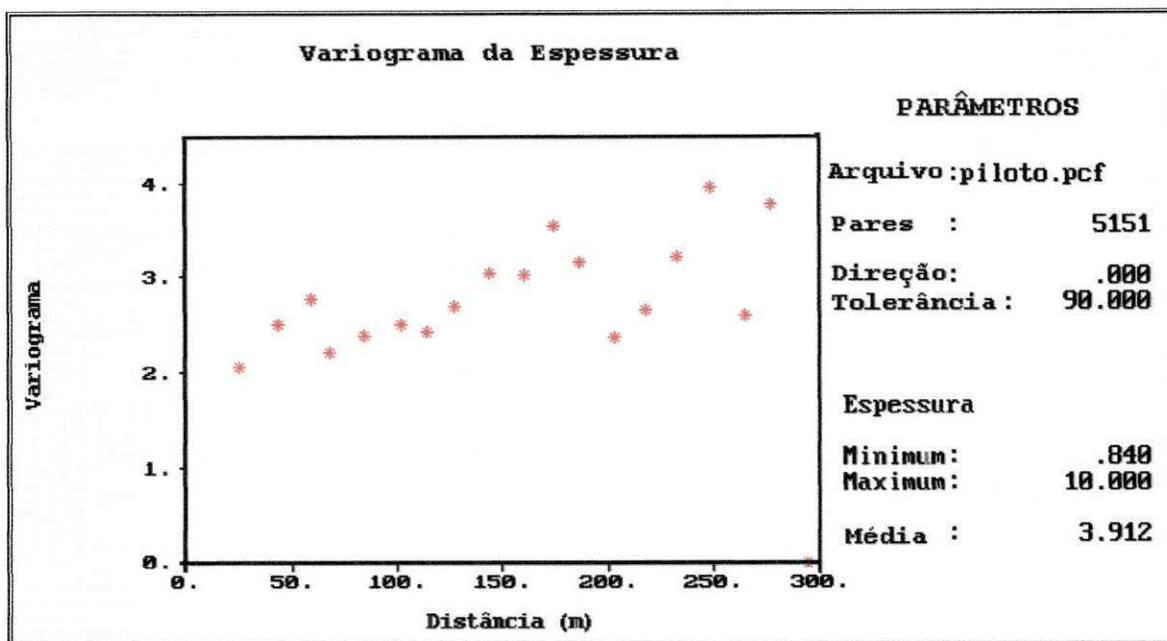


FIGURA 21– Variograma experimental médio da espessura da Cava Piloto. (h=15,07)

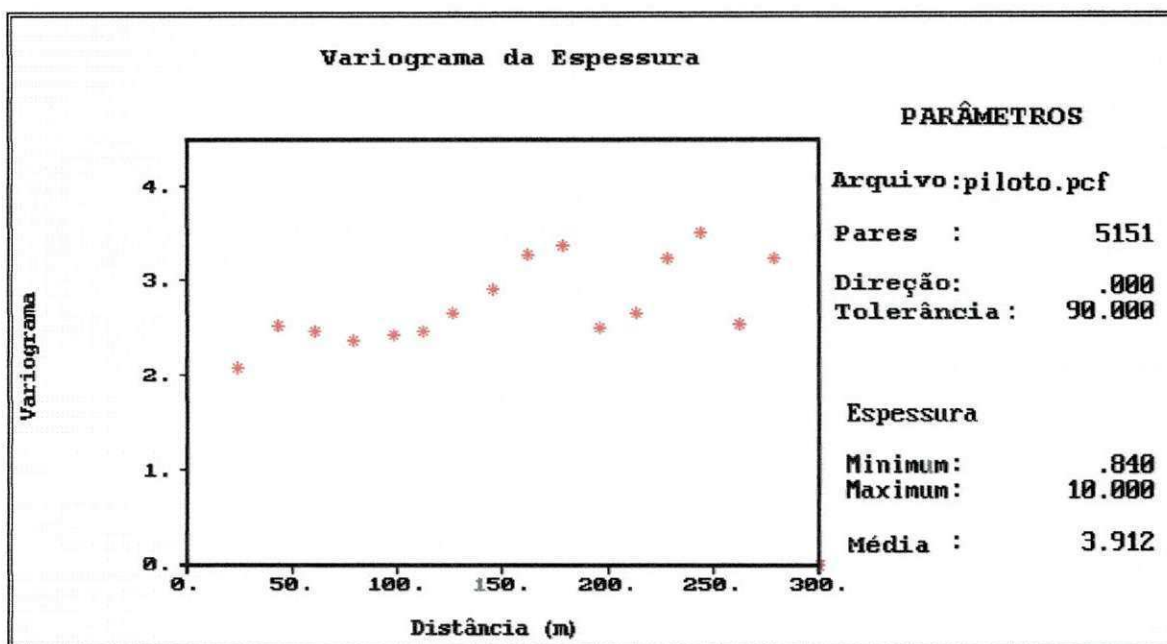


Figura 22 - Variograma experimental da espessura da Cava Piloto (h=18,00)

5.3.2.2 Variograma teórico

O variograma experimental foi ajustado para se ter um teórico, conseguindo um melhor resultado, quando utilizado os seguintes parâmetros: C_0 (efeito pepita) = 1,0 ; C (variância espacial) = 1,5 e alcance (área de influencia) = 50 m. A linha indica o ajuste ao modelo esférico. A Figura 23 mostra o variograma experimental ajustado

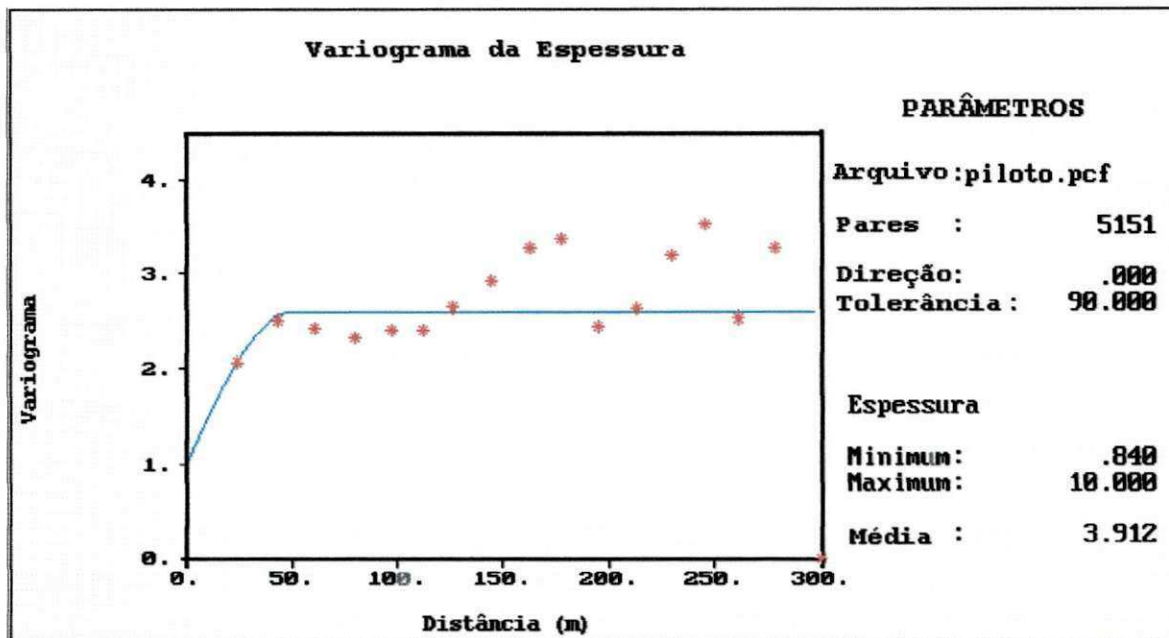


FIGURA 23 – Variograma teórico da Cava Piloto para um alcance de 50m

Observou-se que o variograma mostra uma mistura de mais de um modelo variográfico pela natureza ondulatória da curva de variograma experimental. Por esta razão foi ajustado outro modelo teórico para um outro valor de patamar mostrado na Figura 24. Os parâmetros utilizados para este modelo teórico são C_0 . (Efeito Pepita) = 0,8, C (variância espacial) = 2,0 e alcance (área de influencia) = 150 m.

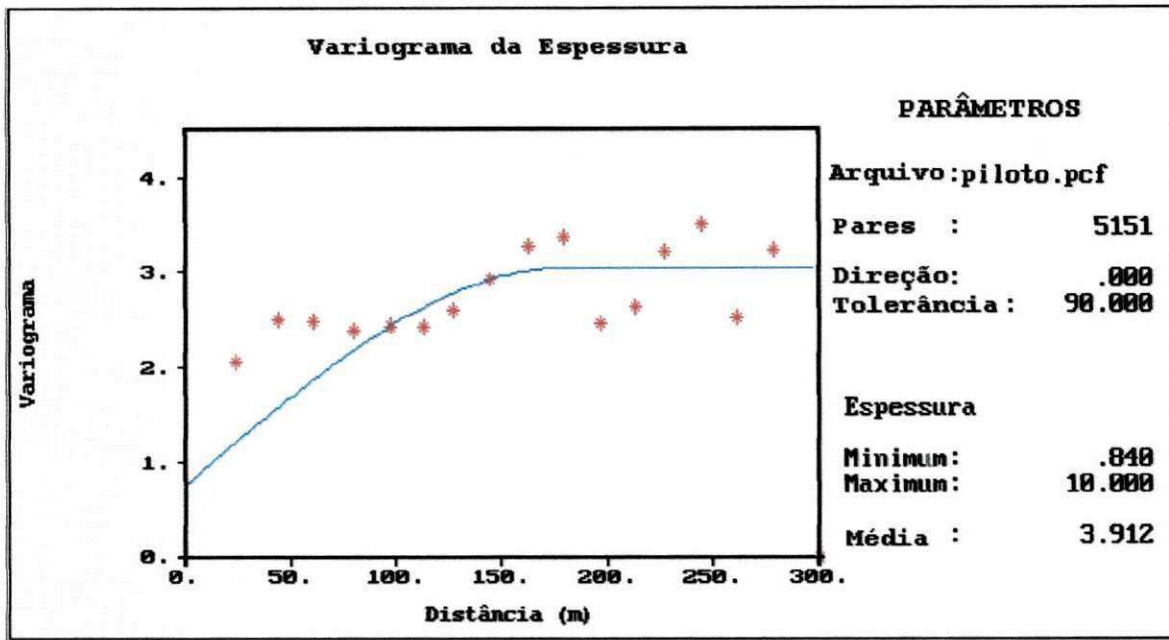


FIGURA 24 – Variograma teórico da Cava Piloto para um alcance de 150m

CAPITULO VI

MODELAMENTO GEOLÓGICO E PLANEJAMENTO APLICADO À JAZIDA DE VERMICULITA

6.1 ASPECTO GERAL

A geometria do corpo associado a grande variação de teor, a distribuição heterogênea de teor e a estrutura complexa do corpo Massapé tem tornado obrigatório o uso do controle informatizado e tratamento dos dados geológicos para assegurar informações confiáveis ao planejamento de lavra. Este trabalho mostra a metodologia aplicada e os resultados obtidos na criação do modelo geológico na jazida de vermiculita do Piauí.

6.2 SELEÇÃO DA ÁREA PARA MODELAGEM

Diante da complexidade do corpo geológico da mina Massapé, fez-se necessário dimensionar os trabalhos a serem desenvolvidos num setor da mina. Isso para comparar os dados gerados pelo *Datamine* com os dados reais de lavra, e também para ser usado como ferramenta no planejamento. Seguindo esta linha de

trabalho a frente de lavra Cava Nova e Cava Piloto (Figura 25 e 26) foi escolhida pôr possuir características favoráveis e pôr estarem em lavra no momento. A pesquisa foi desenvolvida utilizando: dados de furos de trado e de poços, dados de material do desmonte, mapas geológicos e mapas topográficos.



FIGURA 25 – Cava nova com vista sudeste



FIGURA 26 – Cava Piloto com vista oeste

6.3 BASE DE DADOS

6.3.1 Preparação da Base de Dados

A base de dados é constituída pôr 89 furos na Cava Nova e 102 furos na Cava Piloto, realizadas em malha com espaçamento de 20x20 metros, e distribuídos em 16 e 13 seções verticais respectivamente. Toda a base foi cadastrada na Planilha Eletrônica Excel, tendo sido os valores posteriormente validados através de processos estatísticos.

6.3.2 Implementação dos Dados

Os dados dos furos, coletados em campo: comprimento do furo, cota da abertura do furo, coordenada espacial e litologia, foram lançados em uma planilha. Condensados em quatro arquivos: *assays*, *collars*, *geology* e *surveys*, foram processados e analisados pelo *Software Datamine*, seguindo uma rotina pré-estabelecida conforme a Tabela 6. A implementação foi desenvolvida para as duas cavas, onde o modelo geológico foi gerado pelas seções verticais.

TABELA 6 – Arquivos de dados de sondagem

ARQUIVO	CARACTERÍSTICA DO ARQUIVO
<i>assays</i>	Teor de vermiculita das amostras
<i>collars</i>	Coordenadas da abertura do furo: x, y e z
<i>geology</i>	Litologia do furo
<i>surveys</i>	Medida do azimute e inclinação dos furos

A partir dos arquivos da Tabela 6, foi gerado no programa Datamine, arquivos correspondentes com a forma de *assays.dm*, *collars.dm*, *geology.dm* e *surveys.dm*, no formato binário.

6.4 ÁREA CAVA NOVA

É uma cava que tem como localização o extremo oeste da jazida e é denominada de Área 1 – Lavra 05 pelo setor de planejamento. Essa lavra é caracterizada pela presença relativamente do minério com vermiculita grossa, passíveis de detecção direta quando aflorante.

6.4.1 Interpretação Geológica

A interpretação geológica foi e é feita através de seções verticais e através dos dados de sondagem.

Do total de 89 furos, foi criado um arquivo *drillholes* contendo a posição e orientação de cada furo de sondagem. A Figura 27 mostra a malha de sondagem.

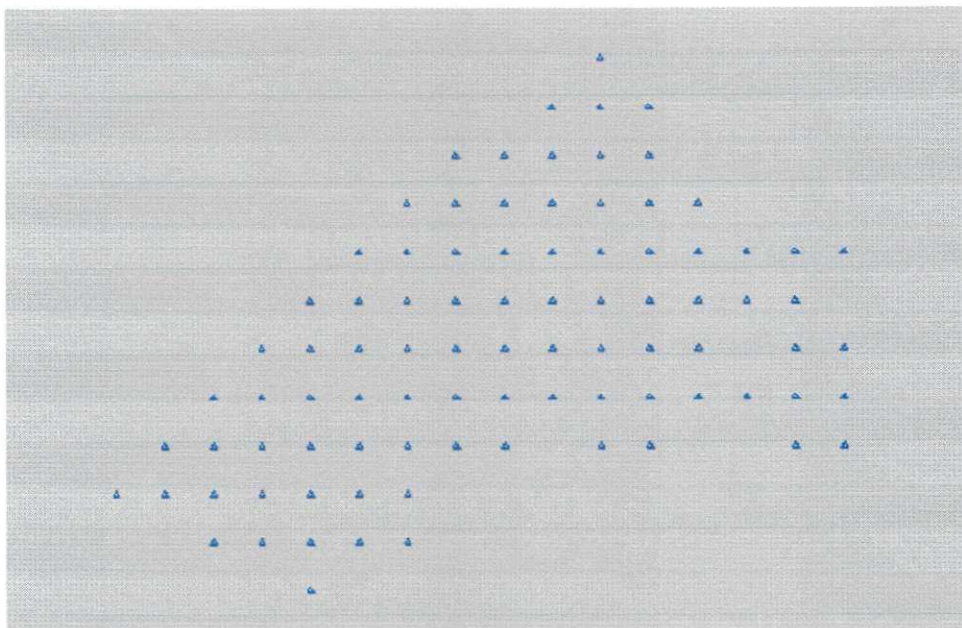


FIGURA 27 – Malha de sondagem da Cava nova

A partir da malha de sondagem foram criadas 16 strings contendo informações do corpo do minério e 16 string contendo informações sobre o capeamento. As strings foram criadas no sentido norte-sul, visando um melhor acabamento junto às regiões de contato. A Figura 28 ilustra o perfil das poligonais da Cava Nova.

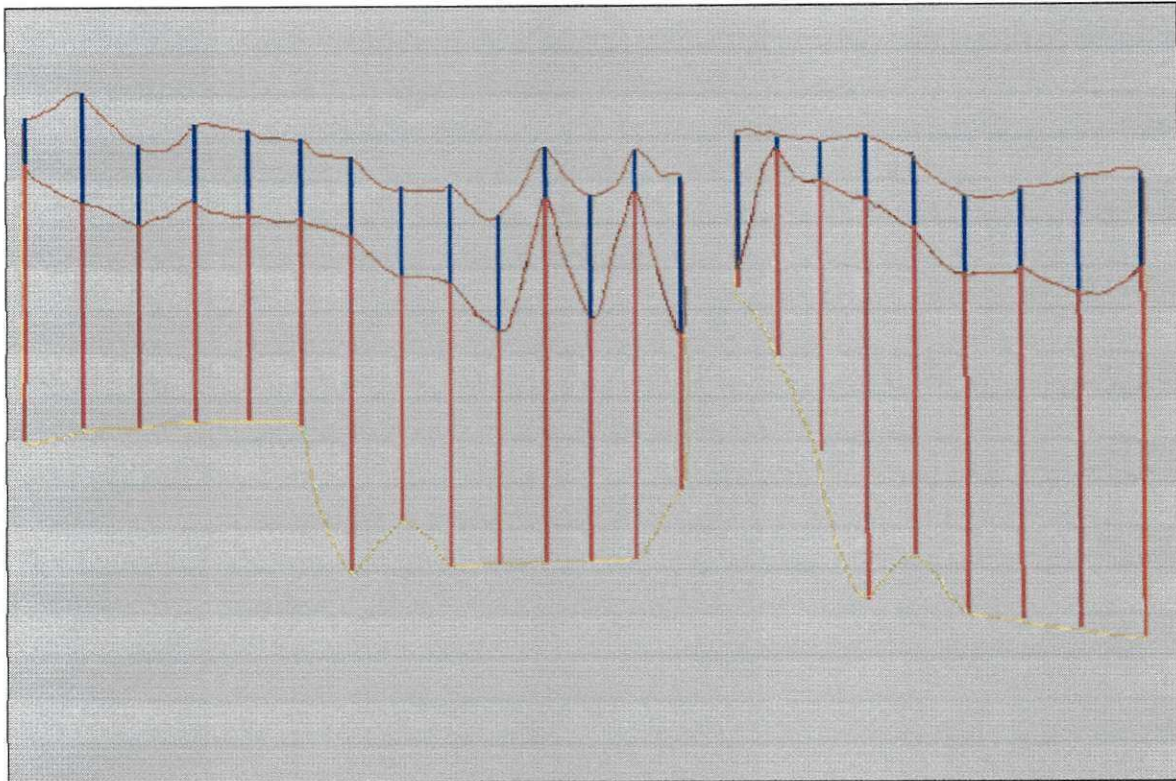


FIGURA 28 – Perfil das poligonais N –S e L - O da Cava Nova

A granulometria do minério é extremamente heterogêneo em sua distribuição espacial, não se verificando uma continuidade lateral, longitudinal ou vertical nos diversos níveis.

6.4.2 Modelo Geométrico

Após ter definido a interpretação geológica da seção vertical foi criado o modelo tridimensional do corpo geológico da Cava Nova.

Para efeito de modelagem do corpo, agrupamos o capeamento ao tipo litológico, permitindo assim uma visualização das camadas e definindo o contato exato do segundo com a superfície topográfica.

As *wireframes* foram geradas a partir de seções geológicas verticais no sentido leste – oeste, ligadas através de triangulação automática de poligonais.

A partir da *wireframe*, o volume definido pelo contorno pode ser calculado com precisão.

Uma vez definido o modelo, o corpo modelado pôde ser preenchido por blocos e sub-blocos. O modelo de *wireframe* na Figura 29 representa a forma geométrica do corpo Cava Nova, delimitando a jazida em tridimensionalmente com escala vertical ampliada.

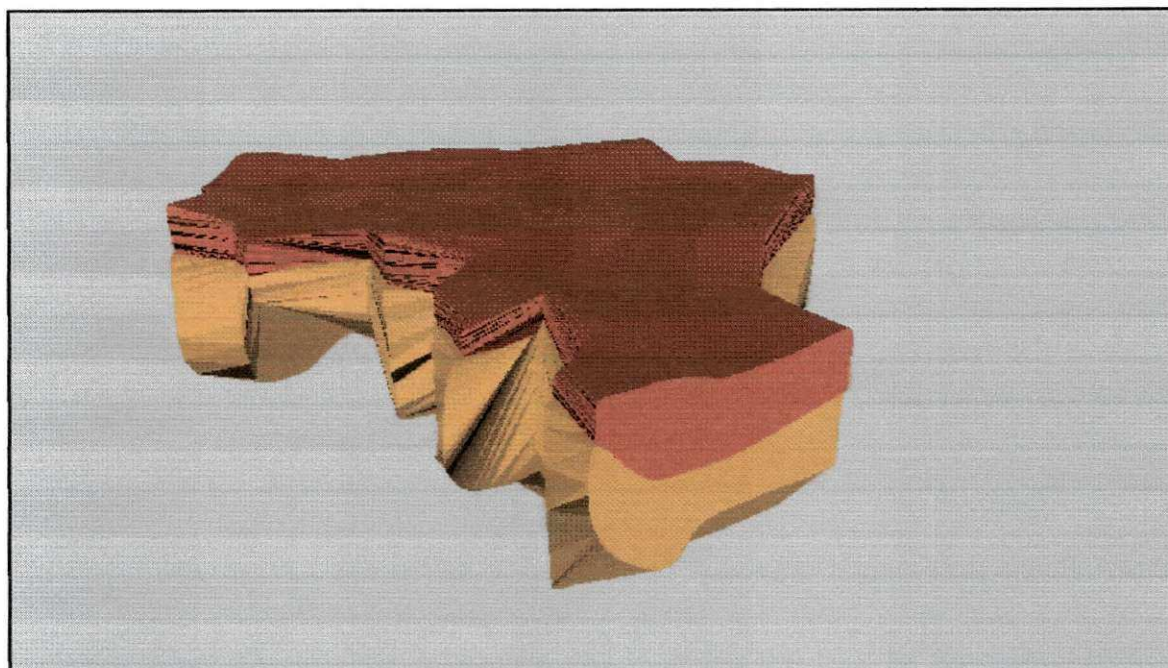


FIGURA 29 – Modelo da Jazida Cava Nova

6.4.3 Geração de Blocos

Após a criação tridimensional do corpo através das *wireframes*, essa etapa é caracterizada pela criação do modelo de blocos.

Os Conceitos básicos de um modelo de blocos são a origem, a dimensão dos blocos em cada direção, e o nível de subdivisões em cada direção, para auxiliar a decisão de quais seriam as dimensões dos blocos em cada direção (x, y e z). Foi discutida uma rotina de análise, onde algumas combinações de blocos de variadas dimensões são analisadas.

A modelagem final (Figuras 30 e 31) apresentou um total máximo de 28875 blocos gerados com dimensões de 4 x 4 x 1 metros em uma só litologia. As dimensões citadas foram adotadas em virtude dos trabalhos de lavra. Os dados do modelo de blocos da cava estão na Tabela 7.

TABELA 7 – Dimensões do modelo de blocos da Cava Nova

	Limites das Coordenadas			Dimensões dos Blocos		Quantidade de Células
	Mínimo	Máximo	Range	Mínimo	Máximo	
X	400	700	300	1	4	75
Y	1020	1240	220	1	4	55
Z	445	452	7	1	1	7

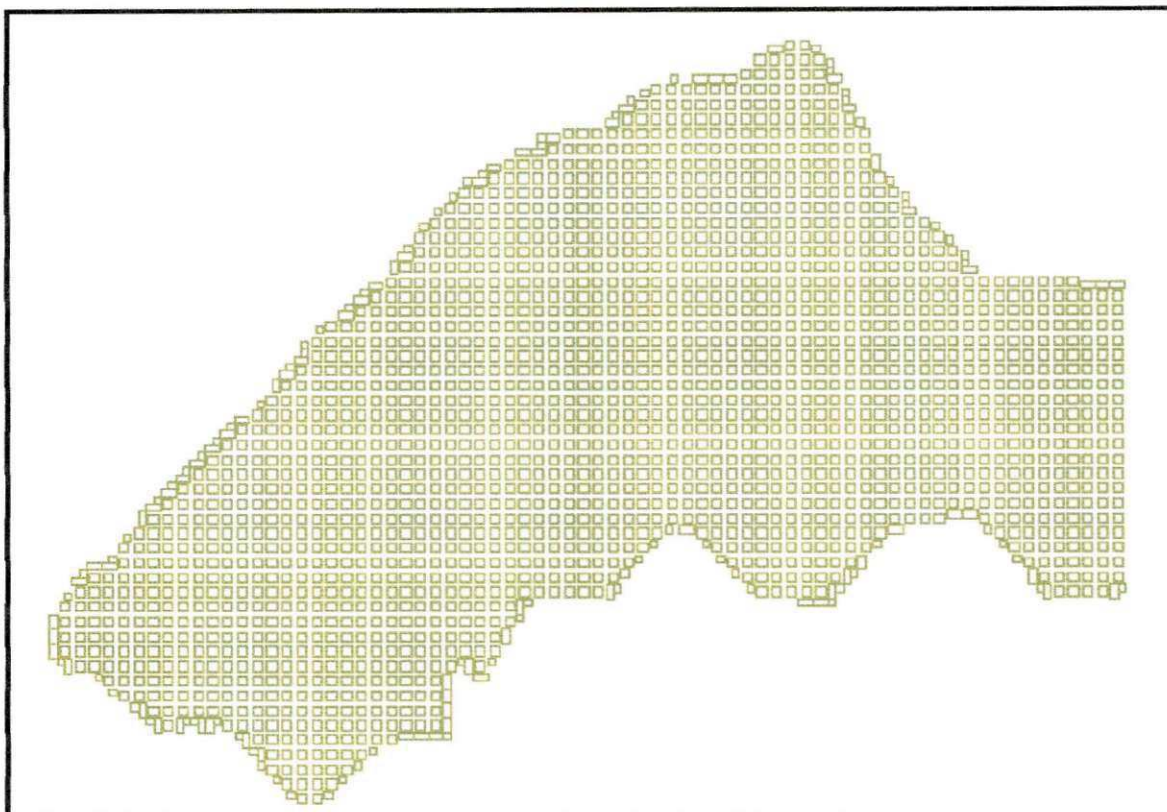


FIGURA 30 - Corte horizontal do modelo de blocos e sub blocos na cota 439 da Cava Nova

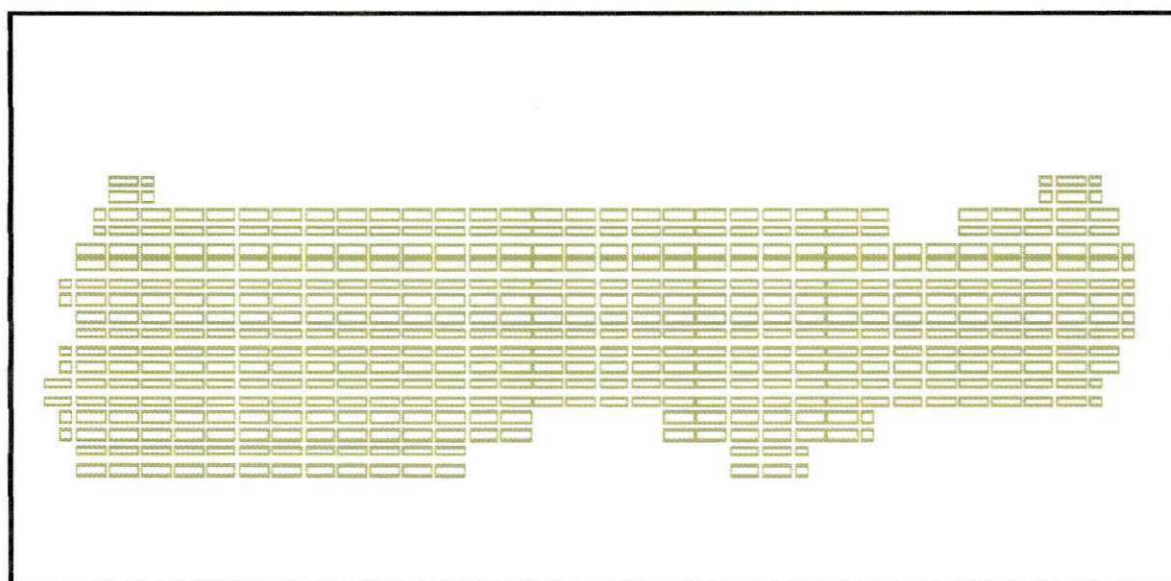


FIGURA 31 – Corte vertical do modelo de blocos no sentido E – W da Cava Nova

6.4.4 Avaliação do Modelo de Blocos

Com o resultado satisfatório nos modelos de blocos criados para o corpo da Cava Nova, foi definido aplicar a mesma metodologia para o modelo de blocos na outra cava.

6.4.5 Cálculo de Reserva

O volume foi obtido através do modelamento geológico do corpo de minério, tendo como base seções de sondagem contidas no plano vertical.

TABELA 8 – Dados do modelo da Cava Nova extraído do Datamine

PARÂMETROS	VALOR
Volume Total do Modelo de Bloco (m ³)	352.988,8
Volume da Wireframe (m ³)	382.114,3
Diferença de Volume (m ³)	29.125,5
Densidade do Bloco	1.85
Toneladas do Bloco	653.029.6

6.5 CAVA PILOTO

6.5.1 Interpretação Geológica

Inicialmente os corpos foram interpretados e delimitados em plantas, onde todos esses foram amostrados e mapeados com detalhe (mapeamento na escala

1:2.000), definindo-se aí perímetros envolvendo cada corpo de minério. Esses dados ajudaram na interpretação das seções de sondagem verticais.

Através das informações dos 102 furos da área Piloto, foi criado um arquivo *drillholes* contendo a posição e orientação de cada furo de sondagem. A Figura 32 mostra a malha de sondagem.

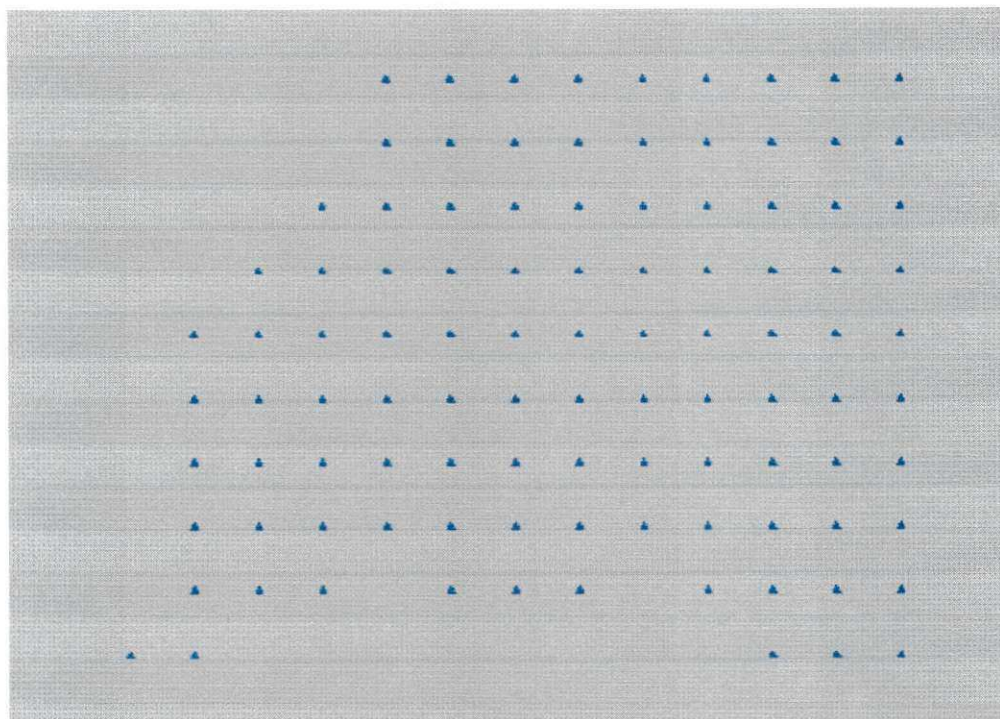


FIGURA 32 – Malha de sondagem da Cava Piloto

As informações geológicas presentes foram reunidas a partir da análise dos perfis dos furos de sondagem. O material amostrado deu origem ao banco de dados utilizado no modelamento da camada de vermiculita e o seu capeamento.

A partir da malha de sondagem foram geradas 13 strings contendo informações do corpo do minério e 13 strings contendo informações sobre o capeamento. Como foi feito na Cava Nova, as strings foram criadas no sentido norte-sul, visando um melhor acabamento junto às regiões de contato.

O teor do minério na Cava Piloto é extremamente heterogêneo em sua distribuição espacial, não se verificando uma continuidade lateral, longitudinal ou vertical nos diversos níveis.

6.5.2 Modelo Geométrico

O modelo foi gerado até a cota 430, impondo-se como limite o perímetro que descreve em superfície o contato entre a vermiculita e a flogopita.

Para efeito de modelagem do corpo, agrupamos o capeamento ao tipo litológico. A confecção do modelo envolveu o uso das informações de análise granulométrica e espessura de cada furo.

As *wireframes* foram geradas a partir de seções geológicas verticais no sentido leste – oeste, ligadas através de triangulação automática de poligonais. A Figura 33 exhibe a malha triangulada de pontos do corpo de vermiculita.

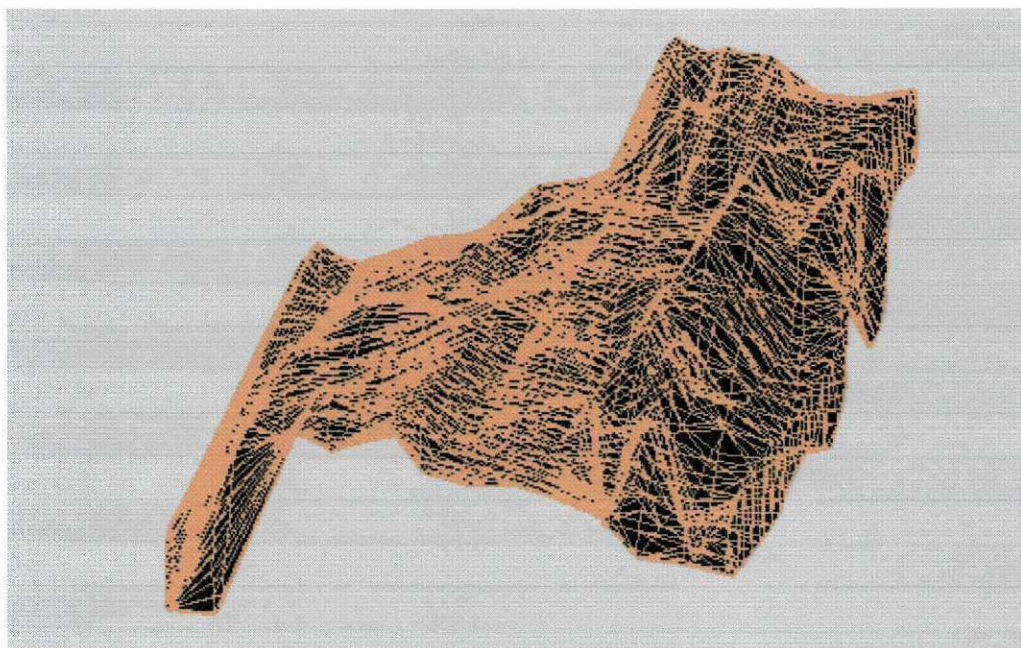


FIGURA 33 – Malha triangulada do corpo Cava Piloto

A confecção do modelo envolveu o uso das informações de análise granulométrica e parâmetros operacionais da lavra.

Uma vez definido o modelo, o corpo modelado pôde ser preenchido por blocos e sub-blocos. O modelo de *wireframe* na Figura 34 representa a forma geométrica do corpo Cava Piloto, delimitando a jazida tridimensionalmente com escala vertical ampliada.

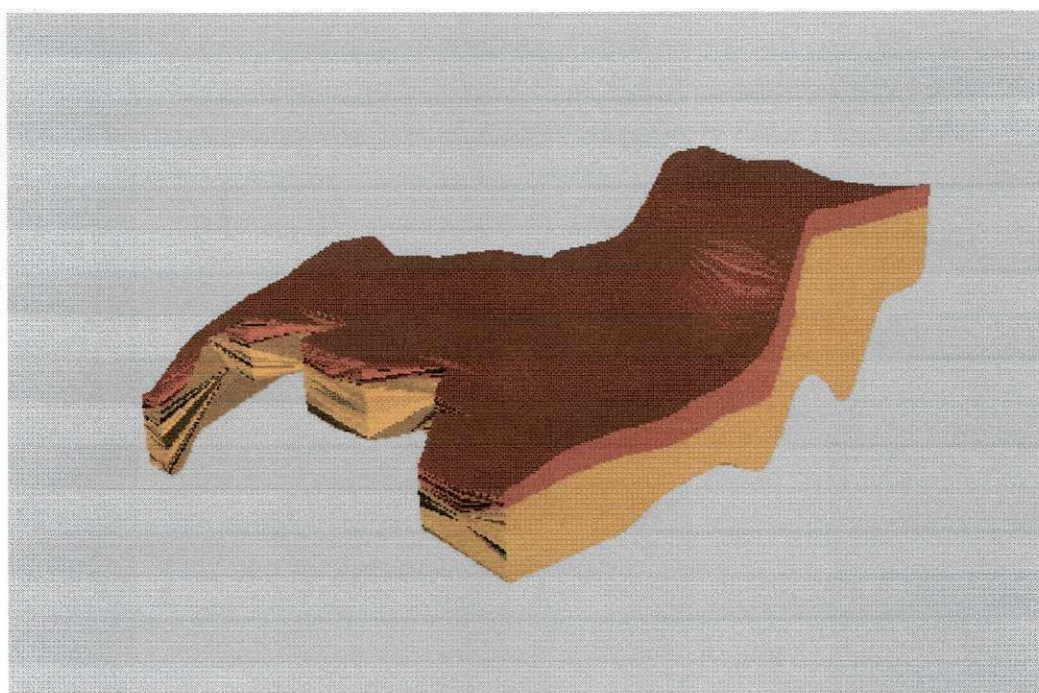


FIGURA 34 – Modelo geométrico da Cava Piloto

6.5.3 Geração de Blocos

Partindo-se do modelo geológico tridimensional do corpo, foi gerado um modelo de blocos. Os passos foram os mesmos utilizados na Cava Nova.

Nas duas cavas o bloco foi determinado em função de parâmetros específicos de lavra, como equipamentos disponíveis e nível de produção.

O modelo geológico resultante compreende um total máximo de 51300 blocos com dimensões de 4 x 4 x 1 m em uma só litologia, conforme interpretação inicial dos perfis geológicos (Figuras 35 e 36). Na Tabela 9 um resumo dos dados do modelo de blocos.

Os blocos foram gerados a partir da cota 449 até o limite com a superfície de capeamento. No contato com o capeamento os blocos foram subdivididos para aumentar a precisão do planejamento.

TABELA 9 – Dimensões do modelo de blocos da Cava Piloto

	Limites das Coordenadas			Dimensões dos Blocos		Quantidade de Células
	Mínimo	Máximo	Range	Mínimo	Máximo	
X	980	1220	240	1	4	60
Y	800	980	180	1	4	45
Z	430	449	19	0.5	1	19

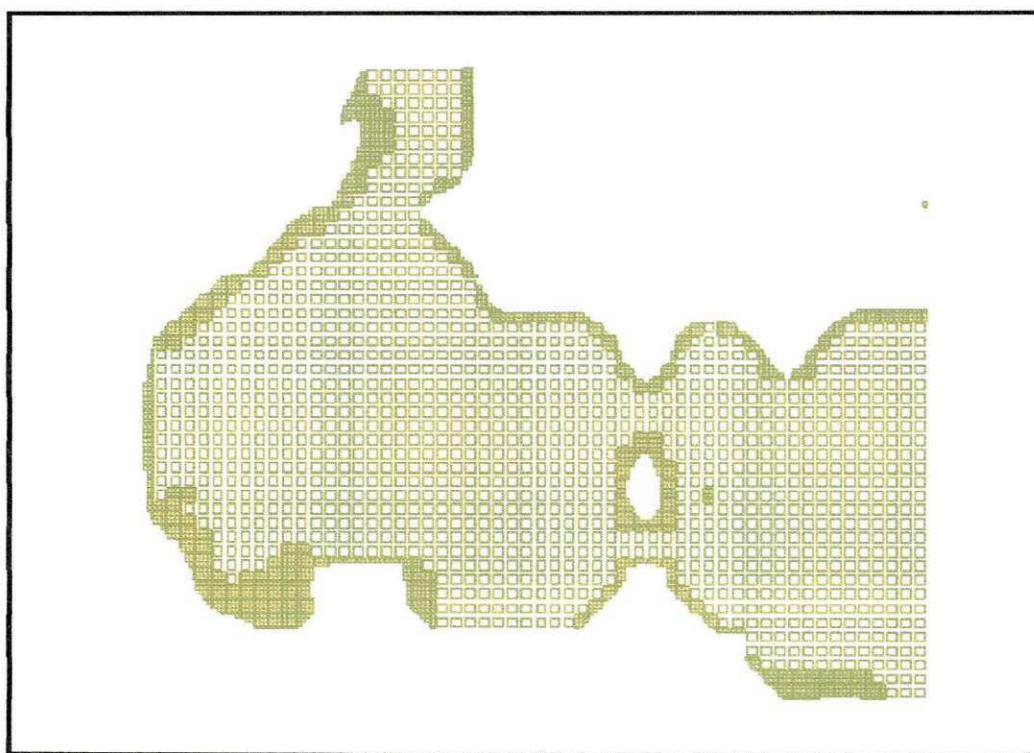


FIGURA 35 - Corte horizontal do modelo de blocos e sub blocos na cota 439 da Cava Piloto

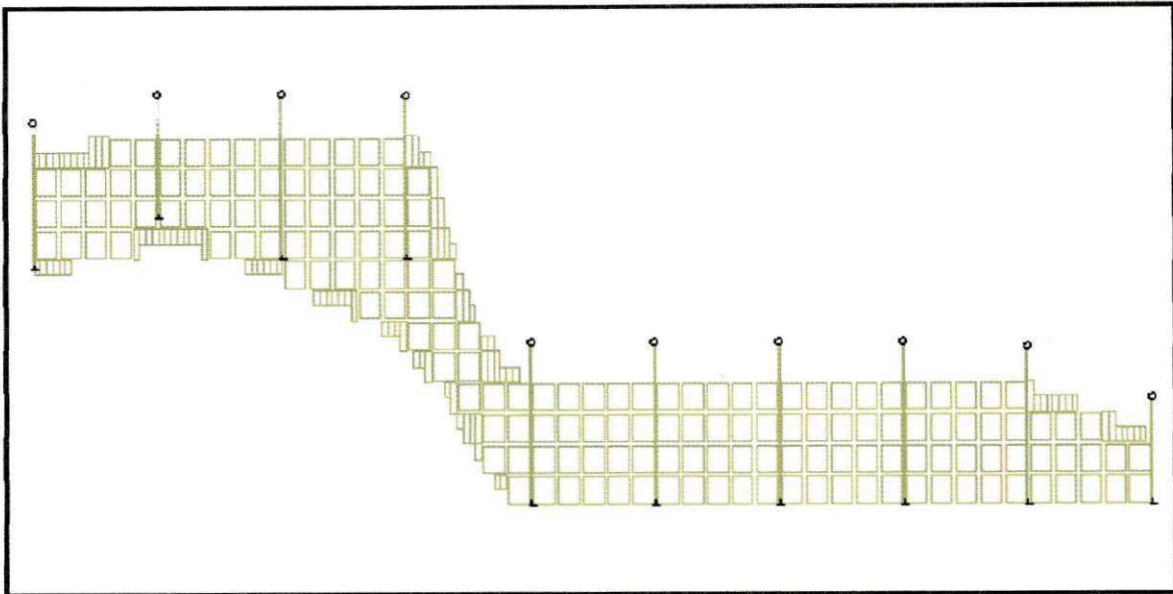


FIGURA 36 - Corte vertical do modelo de blocos e sub blocos na cota 439 da Cava Piloto

6.5.4 Cálculo de Reserva

Ao contrário dos modelos tradicionais atenuados de reservas, corpos minerais simulados condicionalmente fornecem ferramentas para interpretar a incerteza e variabilidade dos teores e os efeitos resultantes na avaliação de reservas e planejamento de lavra.

TABELA 10 - Dados do modelo da Cava Piloto extraído do Datamine

PARAMETROS	VALOR
Volume Total do Modelo de Bloco (m ³)	281.213,1
Volume da Wireframe (m ³)	302.948,9
Diferença de Volume (m ³)	21.735,8
Densidade do Bloco	1.85
Toneladas do Bloco	520.244.2

6.6 PLANEJAMENTO DE MINA

As cavas estão, atualmente, em fase de lavra, e devido à irregularidade geomorfológica da jazida, a lavra se desenvolve em bancos que varia de 1,0 a 4m, sendo exigidos ângulos variáveis em função da altura. O programa permite a atribuição de ângulos de talude bloco a bloco. Neste trabalho os blocos de lavra são denominados unidades de produção.

Utilizando os modelos litológicos, o planejamento pode ser trabalhado neste horizonte:

Planejamento Longo Prazo – definição de volumes a lavrar de acordo com os parâmetros de lavra e posicionamento de rampas, bermas e acessos. Definição do projeto de Cava Final e estudo de fechamento da mina.

Planejamento Curto Prazo – a modelagem geológica e o planejamento de longo prazo, no caso de 5 anos, dão embasamento ao planejamento de curto prazo, norteando as áreas que serão lavradas nos próximos anos e mantendo a qualidade de produção.

O *software* proporciona uma vantagem que é a facilidade de estudos de novas alternativas sobre a base já existente. A partir daí, é uma contínua retroalimentação de informações da frente de lavra, feita imediatamente após a análise granulométrica.

Após a análise, o programa aponta a seqüência em que os blocos minerais serão lavrados para um horizonte diário ou semanal.

CAPITULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O depósito de vermiculita da área em estudo, formou-se por uma combinação dos processos hidrotermal e intemperismo das rochas ultramáficas. A vermiculita é encontrada com mais freqüência na parte superior da seqüência e gradativamente muda para rochas com flogopita nas partes inferiores. A variação espacial da espessura no depósito é muito claro conforme a análise variográfica. As estruturas variográficas observadas nos variogramas experimentais indica claramente a forma muito irregular do corpo intrusivo que deu origem a vermiculita, que ocorre em forma lenticular, veios e bolsões. Por esta razão, o efeito pepita que é a variância aleatória, é relativamente alta e a variância espacial tende a ser bem marcante. A análise variográfica fornece subsídio no planejamento de lavra a céu aberto.

Do ponto de vista de modelagem, o depósito possui uma topografia muito acidentada, com mudanças freqüentes de declividade. O modelamento demonstrou que a dimensão vertical é pouco significativa, se comparada com as dimensões horizontais. A forma geométrica do corpo varia bastante em função de direção geográfica do depósito. A pequena espessura de vermiculita e a forma muito irregular do corpo são os fatores que dificultam o planejamento de lavra.

O planejamento de lavra para mineração de minerais é fundamental para seu perfeito avanço. Isso torna indispensável à utilização de uma ferramenta informatizada que propicie agilidade e segurança na realização das várias atividades que estão direta e indiretamente relacionadas ao planejamento da mina.

O emprego do Datamine na Mina de Massapé é fundamental, devido ao elevado avanço da lavra. Além disso, a quantidade de informações que circulam nos diferentes locais da empresa seria gerenciada pelo software traduzindo assim toda a sua aplicabilidade. O programa DATAMINE se mostrou uma poderosa ferramenta quando utilizada em conjunto com outros programas. Apresenta uma interface de interação bastante amigável e possui a capacidade de integração de programas externos.

O software tem a função de auxiliar o conhecimento geológico e de mineração obtido no campo e na prática, mas seu objetivo não é ensinar geologia e mineração. Se mal utilizado pode mascarar a realidade dos dados. Em uma atividade interpretativa e de riscos como a indústria mineral, nenhum programa poderá substituir a experiência, o conhecimento e a capacidade de decisão do geólogo ou do engenheiro de minas (Datamine, 1992).

Para futuros trabalhos, recomenda-se modelamentos das outras áreas da Fazenda Massapé, para compreender e obter dados da ocorrência de vermiculita, facilitando assim o cálculo total de reserva.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, R. C. **Aplicação de realidade virtual no planejamento de lavra.** EPUSP, São Paulo, Dissertação de Mestrado. 65p., 2002.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral.** DNPM: Brasília. 122p. 2001.

_____. _____. **Geoestatística Operacional.** DNPM: Brasília. 145p. 1988.

CALHEIROS, R. V. **Relatório de Geologia de Campo III.** UFPE. Recife-PE. 1992.

COSTA FILHO, W. D. & FEITOSA, E.G. Relatório de uma Área SSW de Paulistana - Piauí. Relatório de Graduação. UFPE. 1992.

DAVID, M. **Geostatistical Ore Reserve Estimation.** Elsevier. 1977. 364p.

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

DE TOMI, G. F. C.; AZEVEDO, R. C.; CHAUSSON, D. **Planejamento e Seqüenciamento de Lavra.** In: Congresso de Mina a Céu Aberto do IBRAM, Belo Horizonte, set. 2000.

DERAISME, J.; FOUQUET, C. **The Geostatistical Approach for Reserves.** Mining Magazine . New York. p309-313. May.1996.

ENGLUND, E. & SPARKS, A. **GEO-EAS**. Geoestatistical Enviromental Assessment Software. U.S. Environmental Protency Agency, Las Vegas, 1988. (EPA/600/4-88/033a).

FERNANDES, J. L. **Contribuição ao Conhecimento Geológico do Depósito Mineral de Massapé e Avaliação de Reservas**. Piauí. 1982

FERNANDES, J. L. **Relatório de Reavaliação Decreto de Lavra n° 78249**. Eucatex Mineração do Nordeste S.A. Piauí. 1983.

GOMES, F. E. M. **Programa Levantamentos Geológico Básicos do Brasil Texto, Carta Geológica, Carta Metalogenética – Previsional**. Folha SC 24 V A II Paulistana. Piauí. DNPM/CPRM. Brasília. 1990

GOPINATH, T. R.; OLIVEIRA, G.V.; LIMA, A. A. **Variographic Analysis of the Vermiculite Deposits and its Implications in Open Pit Mining in the Queimada Nova – Paulistana Region, Piauí, Northeast Brazil**. IAMG 2003.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística Operacional**. Brasília: DNPM-MME,. 145p., 1988

IINGRAM, P. **An Introduction to Geostatistics**. Austrália. Revisado em 4/3/1997. Macquare University, Sydney. Disponível na Intenet: <http://atlas.es.mq.edu.au/users/pingram/pingram.htm>. Online.

JOURNEL A. G.; HUIJBREGTS C.J. **Mining Geoestatistics**. New York, Academic Press. 1978. 600p.

KALVELAGE, M. R. **Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Granito Casa Blanca**. Campina Grande: UFPB. Dissertação de Mestrado. 104p., 2001.

MELO, E. B. **Relatório de Consolidação dos Trabalhos dos Trabalhos na Área da Mina de Vermiculita do Massapé Queimada Nova – Piauí**. Piauí. 1997

_____. **Relatório Parcial dos Trabalhos de Consultoria Ano 1996 na Mina de Vermiculita do Massapé Queimada Nova – Piauí**. Relatório Interno. Piauí. 1996

MELO, E. B. **Relatório Final dos Trabalhos de Consultoria Ano 1995 na Mina de Vermiculita do Massapé Queimada Nova – Piauí**. Relatório Interno. Piauí. 1995

NOBLE, A. C. **Ore Reserve / Resource Estimation**. In: Hartman, H. L (ed.). SME Mining Engineering Handbook. V.1. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Colorado. 1992. Chapter 5.6. p. 344-359.

OLIVERIO, R. L. **Report on Eucatex Vermiculite Depósitos and Developments of Brasil. Paulistana and Catalão**. 1982

PARENTE, R.C. & OLIVEIRA, U.L. de 1986. **Perfil Analítico da Vermiculita**. B. DNPM, Brasília, 60:1-37.

Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Paulistana. Folha SC.24-V-A. Estados do Piauí, Bahia e Pernambuco. Organizado por João Francisco Silveira e Ivo Figueirôa – Brasília : CPRM, 1997.

RÉ, E.R. **Gerenciamento de informações geológicas no planejamento de lavra**. EPUSP, São Paulo, Dissertação de Mestrado. 78p., 2002.

RIBEIRO, D.T. ; AMORIN, L. Q. **Estudo Geoestatístico das Hematitas de Tamanduá – Proposta Metodológica**. In: Workshop Datamine, 3, 1995. Anais. Caldas Novas: Datamine Latin America. p.54-74. 1995

ROGÉRIO, B. L. **Relatório de Estágio Curricular**. Escola Técnica Estadual. São Paulo. 1996

SAMPAIO, T. Q. Programa Levantamento Geológico Básicos do Brasil. Folha SC 24 V A V (Afrânio). DNPM/CDRM. Brasília. 1990.

SARMENTO, H. J. L. **Aplicação do software Datamine no modelamento geológico e cálculo de reservas das jazidas de bentonita, Boa Vista – PB**. Campina Grande: UFPB. Dissertação de Mestrado. 84p., 2002.

SENHORINHO, N. C. S. **Otimização de cavas em mina de calcário para cimento**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, EPUSP, São Paulo. 2001.

SENHORINHO, N. C. S.; DE TOMI, G. F. C. **Maximização do Aproveitamento da Jazida, com Planejamento Ambiental, em Minas de Calcário para Cimento**. Anais do 8º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Salvador – BA. 2000.

T. JANÉR. **Programa de Sondagem executado na Mina de Vermiculita do Massapé**. Relatório Interno. Piauí. 1982.

TUMA, L. S. R. **Comportamento Geoestatístico de Ouro em Solos e Sedimentos de Corrente Associados às Mineralizações Auríferas da Região de Princesa Isabel – PB**, Campina Grande UFPB. Dissertação de Mestrado. 132p., 1999

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Manual de Estrutura e Apresentação de Dissertações e Teses**. João Pessoa: UFPB. 6p. 1999.

ANEXOS

**ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA DATAMINE
CAVA PILOTO**

TABELA – Dados do teor granulométrico - ASSAYS

BHID	FROM	TO	VERMICULITA	BHID	FROM	TO	VERMICULITA
8W12N	0,00	2,70	0,00	3W14N	0,00	3,12	0,00
8W12N	2,70	4,41	18,92	3W14N	3,12	12,12	25,23
7W12N	0,00	3,66	0,00	3W15N	0,00	2,50	0,00
7W12N	3,66	12,66	22,18	3W15N	2,50	16,00	17,51
7W13N	0,00	2,17	0,00	3W16N	0,00	2,57	0,00
7W13N	2,17	12,17	21,50	3W16N	2,57	12,27	55,27
6W11N	0,00	1,50	0,00	3W17N	0,00	2,20	0,00
6W11N	1,50	7,00	15,10	3W17N	2,20	10,00	59,00
6W12N	0,00	1,25	0,00	2W11N	0,00	3,18	0,00
6W12N	1,25	10,05	28,25	2W11N	3,18	6,00	17,98
6W13N	0,00	2,97	0,00	2W12N	0,00	2,98	0,00
6W13N	2,97	10,97	19,09	2W12N	2,98	6,81	16,04
6W14N	0,00	1,79	0,00	2W13N	0,00	3,00	0,00
6W14N	1,79	12,49	26,23	2W13N	3,00	11,00	15,97
5W11N	0,00	2,00	0,00	2W14N	0,00	3,42	0,00
5W11N	2,00	6,00	12,58	2W14N	3,42	12,00	35,29
5W12N	0,00	3,97	0,00	2W15N	0,00	3,02	0,00
5W12N	3,97	10,97	18,61	2W15N	3,02	16,11	15,31
5W13N	0,00	2,87	0,00	2W16N	0,00	3,24	0,00
5W13N	2,87	12,17	32,84	2W16N	3,24	13,24	24,54
5W14N	0,00	4,30	0,00	2W17N	0,00	4,88	0,00
5W14N	4,30	13,11	14,83	2W17N	4,88	17,88	21,53
5W15N	0,00	2,61	0,00	2W18N	0,00	3,01	0,00
5W15N	2,61	13,11	35,51	2W18N	3,01	15,00	54,80
4W10N	0,00	5,10	0,00	1W13N	0,00	3,00	0,00
4W10N	5,10	18,00	16,07	1W13N	3,00	11,00	13,15
4W11N	0,00	4,86	0,00	1W14N	0,00	3,28	0,00
4W11N	4,86	18,86	13,51	1W14N	3,28	11,80	18,22
4W12N	0,00	2,57	0,00	1W15N	0,00	2,44	0,00
4W12N	2,57	16,87	12,45	1W15N	2,44	11,44	27,73
4W13N	0,00	2,60	0,00	1W16N	0,00	3,70	0,00
4W13N	2,60	11,17	23,14	1W16N	3,70	13,00	18,84
4W14N	0,00	3,20	0,00	1W17N	0,00	2,44	0,00
4W14N	3,20	11,20	22,84	1W17N	2,44	16,94	22,57
4W15N	0,00	2,93	0,00	1W18N	0,00	7,00	0,00
4W15N	2,93	16,98	31,41	1W18N	7,00	15,00	13,75
4W16N	0,00	3,91	0,00	1W19N	0,00	4,00	0,00
4W16N	3,91	14,00	33,10	1W19N	4,00	8,00	8,62
3W11N	0,00	4,00	0,00	0W13N	0,00	4,90	0,00
3W11N	4,00	16,60	16,30	0W13N	4,90	18,16	18,96
3W12N	0,00	2,89	0,00	0W14N	0,00	3,30	0,00
3W12N	2,89	16,89	18,00	0W14N	3,30	17,20	13,52
3W13N	0,00	2,00	0,00	0W15N	0,00	2,43	0,00
3W13N	2,00	10,00	10,70	0W15N	2,43	17,03	17,19

0W16N	0,00	3,10	0,00
0W16N	3,10	18,00	19,31
0W17N	0,00	1,86	0,00
0W17N	1,86	17,56	16,24
0W18N	0,00	2,49	0,00
0W18N	2,49	19,01	17,65
0W19N	0,00	3,60	0,00
0W19N	3,60	20,60	30,12
1E14N	0,00	3,74	0,00
1E14N	3,74	14,00	9,42
1E15N	0,00	4,33	0,00
1E15N	4,33	7,13	17,68
1E16N	0,00	2,94	0,00
1E16N	2,94	15,00	24,88
1E17N	0,00	3,40	0,00
1E17N	3,40	17,00	27,71
1E18N	0,00	2,60	0,00
1E18N	2,60	13,00	24,69
1E19N	0,00	1,63	0,00
1E19N	1,63	13,63	23,46
1E20N	0,00	3,36	0,00
1E20N	3,36	6,90	16,76
2E13N	0,00	3,30	0,00
2E13N	3,30	16,00	10,59
2E14N	0,00	4,20	0,00
2E14N	4,20	16,20	13,47
2E15N	0,00	3,00	0,00
2E15N	3,00	16,00	16,72
2E16N	0,00	3,00	0,00
2E16N	3,00	16,00	13,15
2E17N	0,00	2,88	0,00
2E17N	2,88	15,88	20,00
2E18N	0,00	2,60	0,00
2E18N	2,60	19,00	15,21
2E19N	0,00	1,60	0,00
2E19N	1,60	13,00	19,94
2E20N	0,00	0,65	0,00
2E20N	0,65	9,57	14,84
2E21N	0,00	6,00	0,00
2E21N	6,00	6,85	26,78
3E13N	0,00	2,27	0,00
3E13N	2,27	14,06	14,69
3E14N	0,00	4,97	0,00
3E14N	4,97	14,97	21,56

3E15N	0,00	4,09	0,00
3E15N	4,09	16,09	14,27
3E16N	0,00	3,41	0,00
3E16N	3,41	17,41	9,20
3E17N	0,00	3,50	0,00
3E17N	3,50	18,00	10,55
3E18N	0,00	3,50	0,00
3E18N	3,50	19,00	10,66
3E19N	0,00	3,38	0,00
3E19N	3,38	20,18	11,46
3E20N	0,00	3,30	0,00
3E20N	3,30	11,00	11,06
4E14N	0,00	2,20	0,00
4E14N	2,20	18,00	13,99
4E15N	0,00	5,05	0,00
4E15N	5,05	17,00	9,89
4E16N	0,00	4,00	0,00
4E16N	4,00	17,00	17,55
4E17N	0,00	1,61	0,00
4E17N	1,61	21,00	9,84
4E18N	0,00	3,30	0,00
4E18N	3,30	19,00	12,74
5E14N	0,00	5,39	0,00
5E14N	5,39	16,00	4,80
5E16N	0,00	2,17	0,00
5E16N	2,17	17,00	24,73
5E17N	0,00	3,00	0,00
5E17N	3,00	17,00	12,17
6E13N	0,00	2,10	0,00
6E13N	2,10	17,00	17,15
6E14N	0,00	1,90	0,00
6E14N	1,90	18,11	33,12
6E15N	0,00	5,00	0,00
6E15N	5,00	16,00	8,41
6E16N	0,00	4,29	0,00
6E16N	4,29	17,00	19,10
6E17N	0,00	3,40	0,00
6E17N	3,40	17,00	8,10
7E13N	0,00	3,00	0,00
7E13N	3,00	7,00	29,07
7E14N	0,00	6,98	0,00
7E14N	6,98	14,00	9,76
7E15N	0,00	6,00	0,00
7E15N	6,00	10,00	6,39

7E17N	0,00	5,00	0,00
7E17N	5,00	11,00	9,96

TABELA – Dados do teor granulométrico - ASSAYS

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR				
8W12N	400	1060	446,71	0W17N	560	1160	447,56
7W12N	420	1060	448,66	0W18N	560	1180	449,01
7W13N	420	1080	448,17	0W19N	560	1200	450,60
6W11N	440	1040	447,00	1E14N	580	1100	446,00
6W12N	440	1060	446,05	1E15N	580	1120	447,13
6W13N	440	1080	446,97	1E16N	580	1140	447,00
6W14N	440	1100	448,00	1E17N	580	1160	449,00
5W11N	460	1040	446,00	1E18N	580	1180	449,00
5W12N	460	1060	446,97	1E19N	580	1200	449,63
5W13N	460	1080	448,17	1E20N	580	1220	450,90
5W14N	460	1100	449,11	2E13N	600	1080	446,00
5W15N	460	1120	449,11	2E14N	600	1100	446,20
4W10N	480	1020	448,00	2E15N	600	1120	446,00
4W11N	480	1040	448,86	2E16N	600	1140	446,00
4W12N	480	1060	446,87	2E17N	600	1160	447,88
4W13N	480	1080	447,17	2E18N	600	1180	449,00
4W14N	480	1100	447,20	2E19N	600	1200	449,00
4W15N	480	1120	448,98	2E20N	600	1220	449,57
4W16N	480	1140	450,00	2E21N	600	1240	450,00
3W11N	500	1040	446,60	3E13N	620	1080	444,06
3W12N	500	1060	446,89	3E14N	620	1100	444,97
3W13N	500	1080	446,00	3E15N	620	1120	446,09
3W14N	500	1100	448,12	3E16N	620	1140	447,41
3W15N	500	1120	448,00	3E17N	620	1160	448,00
3W16N	500	1140	449,27	3E18N	620	1180	449,00
3W17N	500	1160	450,00	3E19N	620	1200	450,18
2W11N	520	1040	446,00	3E20N	620	1220	451,00
2W12N	520	1060	446,81	4E14N	640	1100	448,00
2W13N	520	1080	447,00	4E15N	640	1120	447,00
2W14N	520	1100	448,00	4E16N	640	1140	447,00
2W15N	520	1120	448,11	4E17N	640	1160	451,00
2W16N	520	1140	449,24	4E18N	640	1180	449,00
2W17N	520	1160	449,88	5E14N	660	1100	446,00
2W18N	520	1180	451,00	5E16N	660	1140	447,00
1W13N	540	1080	447,00	5E17N	660	1160	447,00
1W14N	540	1100	447,80	6E13N	680	1080	447,00
1W15N	540	1120	447,44	6E14N	680	1100	448,11
1W16N	540	1140	449,00	6E15N	680	1120	446,00
1W17N	540	1160	448,94	6E16N	680	1140	447,00
1W18N	540	1180	451,00	6E17N	680	1160	447,00
1W19N	540	1200	452,00	7E13N	700	1080	447,00
0W13N	560	1080	448,16	7E14N	700	1100	447,00
0W14N	560	1100	447,20	7E15N	700	1120	446,00
0W15N	560	1120	447,03	7E17N	700	1160	447,00
0W16N	560	1140	448,00				

TABELA – Dados da Geologia do furo - GEOLOGY

BHID	FROM	TO	ROCK
8W12N	0,00	2,70	22
8W12N	2,70	4,41	23
7W12N	0,00	3,66	22
7W12N	3,66	12,66	23
7W13N	0,00	2,17	22
7W13N	2,17	12,17	23
6W11N	0,00	1,50	22
6W11N	1,50	7,00	23
6W12N	0,00	1,25	6
6W12N	1,25	10,05	8
6W13N	0,00	2,97	6
6W13N	2,97	10,97	8
6W14N	0,00	1,79	6
6W14N	1,79	12,49	8
5W11N	0,00	2,00	6
5W11N	2,00	6,00	8
5W12N	0,00	3,97	6
5W12N	3,97	10,97	8
5W13N	0,00	2,87	6
5W13N	2,87	12,17	8
5W14N	0,00	4,30	6
5W14N	4,30	13,11	8
5W15N	0,00	2,61	6
5W15N	2,61	13,11	8
4W10N	0,00	5,10	6
4W10N	5,10	18,00	8
4W11N	0,00	4,86	6
4W11N	4,86	18,86	8
4W12N	0,00	2,57	6
4W12N	2,57	16,87	8
4W13N	0,00	2,60	6
4W13N	2,60	11,17	8
4W14N	0,00	3,20	6
4W14N	3,20	11,20	8
4W15N	0,00	2,93	6
4W15N	2,93	16,98	8
4W16N	0,00	3,91	6
4W16N	3,91	14,00	8
3W11N	0,00	4,00	6
3W11N	4,00	16,60	8
3W12N	0,00	2,89	6
3W12N	2,89	16,89	8
3W13N	0,00	2,00	6
3W13N	2,00	10,00	8
3W14N	0,00	3,12	6
3W14N	3,12	12,12	8
3W15N	0,00	2,50	6
3W15N	2,50	16,00	8
3W16N	0,00	2,57	6
3W16N	2,57	12,27	8
3W17N	0,00	2,20	6
3W17N	2,20	10,00	8
2W11N	0,00	3,18	6
2W11N	3,18	6,00	8
2W12N	0,00	2,98	6
2W12N	2,98	6,81	8
2W13N	0,00	3,00	6
2W13N	3,00	11,00	8
2W14N	0,00	3,42	6
2W14N	3,42	12,00	8
2W15N	0,00	3,02	6
2W15N	3,02	16,11	8
2W16N	0,00	3,24	6
2W16N	3,24	13,24	8
2W17N	0,00	4,88	6
2W17N	4,88	17,88	8
2W18N	0,00	3,01	6
2W18N	3,01	15,00	8
1W13N	0,00	3,00	6
1W13N	3,00	11,00	8
1W14N	0,00	3,28	6
1W14N	3,28	11,80	8
1W15N	0,00	2,44	6
1W15N	2,44	11,44	8
1W16N	0,00	3,70	6
1W16N	3,70	13,00	8
1W17N	0,00	2,44	6
1W17N	2,44	16,94	8
1W18N	0,00	7,00	6
1W18N	7,00	15,00	8
1W19N	0,00	4,00	6
1W19N	4,00	8,00	8
0W13N	0,00	4,90	6
0W13N	4,90	18,16	8
0W14N	0,00	3,30	6
0W14N	3,30	17,20	8
0W15N	0,00	2,43	6
0W15N	2,43	17,03	8
0W16N	0,00	3,10	6
0W16N	3,10	18,00	8
0W17N	0,00	1,86	6

0W17N	1,86	17,56	8
0W18N	0,00	2,49	6
0W18N	2,49	19,01	8
0W19N	0,00	3,60	6
0W19N	3,60	20,60	8
1E14N	0,00	3,74	6
1E14N	3,74	14,00	8
1E15N	0,00	4,33	6
1E15N	4,33	7,13	8
1E16N	0,00	2,94	6
1E16N	2,94	15,00	8
1E17N	0,00	3,40	6
1E17N	3,40	17,00	8
1E18N	0,00	2,60	6
1E18N	2,60	13,00	8
1E19N	0,00	1,63	6
1E19N	1,63	13,63	8
1E20N	0,00	3,36	6
1E20N	3,36	6,90	8
2E13N	0,00	3,30	6
2E13N	3,30	16,00	8
2E14N	0,00	4,20	6
2E14N	4,20	16,20	8
2E15N	0,00	3,00	6
2E15N	3,00	16,00	8
2E16N	0,00	3,00	6
2E16N	3,00	16,00	8
2E17N	0,00	2,88	6
2E17N	2,88	15,88	8
2E18N	0,00	2,60	6
2E18N	2,60	19,00	8
2E19N	0,00	1,60	6
2E19N	1,60	13,00	8
2E20N	0,00	0,65	6
2E20N	0,65	9,57	8
2E21N	0,00	6,00	6
2E21N	6,00	6,85	8
3E13N	0,00	2,27	6
3E13N	2,27	14,06	8
3E14N	0,00	4,97	6
3E14N	4,97	14,97	8
3E15N	0,00	4,09	6
3E15N	4,09	16,09	8
3E16N	0,00	3,41	6

3E16N	3,41	17,41	8
3E17N	0,00	3,50	6
3E17N	3,50	18,00	8
3E18N	0,00	3,50	6
3E18N	3,50	19,00	8
3E19N	0,00	3,38	6
3E19N	3,38	20,18	8
3E20N	0,00	3,30	6
3E20N	3,30	11,00	8
4E14N	0,00	2,20	6
4E14N	2,20	18,00	8
4E15N	0,00	5,05	6
4E15N	5,05	17,00	8
4E16N	0,00	4,00	6
4E16N	4,00	17,00	8
4E17N	0,00	1,61	6
4E17N	1,61	21,00	8
4E18N	0,00	3,30	6
4E18N	3,30	19,00	8
5E14N	0,00	5,39	6
5E14N	5,39	16,00	8
5E16N	0,00	2,17	6
5E16N	2,17	17,00	8
5E17N	0,00	3,00	6
5E17N	3,00	17,00	8
6E13N	0,00	2,10	6
6E13N	2,10	17,00	8
6E14N	0,00	1,90	6
6E14N	1,90	18,11	8
6E15N	0,00	5,00	6
6E15N	5,00	16,00	8
6E16N	0,00	4,29	6
6E16N	4,29	17,00	8
6E17N	0,00	3,40	6
6E17N	3,40	17,00	8
7E13N	0,00	3,00	6
7E13N	3,00	7,00	8
7E14N	0,00	6,98	6
7E14N	6,98	14,00	8
7E15N	0,00	6,00	6
7E15N	6,00	10,00	8
7E17N	0,00	5,00	6
7E17N	5,00	11,00	8

TABELA – Dados da posição dos furos - SURVEYS

BHID	AT	BRG	DIP
8W12N	0,0	180	90
7W12N	0,0	180	90
7W13N	0,0	180	90
6W11N	0,0	180	90
6W12N	0,0	180	90
6W13N	0,0	180	90
6W14N	0,0	180	90
5W11N	0,0	180	90
5W12N	0,0	180	90
5W13N	0,0	180	90
5W14N	0,0	180	90
5W15N	0,0	180	90
4W10N	0,0	180	90
4W11N	0,0	180	90
4W12N	0,0	180	90
4W13N	0,0	180	90
4W14N	0,0	180	90
4W15N	0,0	180	90
4W16N	0,0	180	90
3W11N	0,0	180	90
3W12N	0,0	180	90
3W13N	0,0	180	90
3W14N	0,0	180	90
3W15N	0,0	180	90
3W16N	0,0	180	90
3W17N	0,0	180	90
2W11N	0,0	180	90
2W12N	0,0	180	90
2W13N	0,0	180	90
2W14N	0,0	180	90
2W15N	0,0	180	90
2W16N	0,0	180	90
2W17N	0,0	180	90
2W18N	0,0	180	90
1W13N	0,0	180	90
1W14N	0,0	180	90
1W15N	0,0	180	90
1W16N	0,0	180	90
1W17N	0,0	180	90
1W18N	0,0	180	90
1W19N	0,0	180	90
0W13N	0,0	180	90
0W14N	0,0	180	90
0W15N	0,0	180	90
0W16N	0,0	180	90
0W17N	0,0	180	90
0W18N	0,0	180	90
0W19N	0,0	180	90
1E14N	0,0	180	90
1E15N	0,0	180	90
1E16N	0,0	180	90
1E17N	0,0	180	90
1E18N	0,0	180	90
1E19N	0,0	180	90
1E20N	0,0	180	90
2E13N	0,0	180	90
2E14N	0,0	180	90
2E15N	0,0	180	90
2E16N	0,0	180	90
2E17N	0,0	180	90
2E18N	0,0	180	90
2E19N	0,0	180	90
2E20N	0,0	180	90
2E21N	0,0	180	90
3E13N	0,0	180	90
3E14N	0,0	180	90
3E15N	0,0	180	90
3E16N	0,0	180	90
3E17N	0,0	180	90
3E18N	0,0	180	90
3E19N	0,0	180	90
3E20N	0,0	180	90
4E14N	0,0	180	90
4E15N	0,0	180	90
4E16N	0,0	180	90
4E17N	0,0	180	90
4E18N	0,0	180	90
5E14N	0,0	180	90
5E16N	0,0	180	90
5E17N	0,0	180	90
6E13N	0,0	180	90
6E14N	0,0	180	90
6E15N	0,0	180	90
6E16N	0,0	180	90
6E17N	0,0	180	90
7E13N	0,0	180	90
7E14N	0,0	180	90
7E15N	0,0	180	90
7E17N	0,0	180	90