

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**MINAS, METALÚRGICA E MATERIAIS - PPGEM**

***Introdução de Variável Espectro-colorimétrica no Modelamento e Planejamento de Jazidas de Caulim e Comparação da Seletividade Produzida por Modelos de Diferentes Dimensões***

***Por***  
***Rodrigo de Lemos Peroni***  
***Engenheiro de Minas***

***Dissertação para obtenção do título de***  
***MESTRE EM ENGENHARIA***

***Porto Alegre, RS***  
***1998***

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**MINAS, METALÚRGICA E MATERIAIS - PPGEM**

**DISSERTAÇÃO**

***Introdução de Variável Espectro-colorimétrica no Modelamento e Planejamento de Jazidas de Caulim e Comparação da Seletividade Produzida por Modelos de Diferentes Dimensões***

***Por***  
***Rodrigo de Lemos Peroni***  
***Engenheiro de Minas***

***Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGEM, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de***

***MESTRE EM ENGENHARIA***

***Área de concentração: Metalurgia Extrativa / Tecnologia Mineral***

***Porto Alegre, RS***

***1998***

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Metalurgia Extrativa / Tecnologia Mineral, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

---

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe  
PPGEM - UFRGS

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Carlos Otávio Petter  
PPGEM - UFRGS

---

Prof. Dr. Adelir José Strieder  
PPGEM – UFRGS

---

Prof. Dr. Giorgio de Tomi  
EPUSP – USP

Coordenador do Programa de Pós Graduação em  
Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos  
Materiais

---

Prof. Dr. Luís F. Pinheiro Dick

Dedico este trabalho à Família Peroni e à Família Lemos, com um carinho especial aos meus pais, Vera Beatriz e Joaquim Tibério, assim como à minha irmã, Letícia. Dedico também aos meus avós em memória póstuma.. Gostaria de dedicar com amor à Patrícia, uma pessoa especial que tem sido o motivo dos meus atos.

## *Agradecimentos*

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, por permitir que eu alcançasse esse lugar privilegiado dentre tantas outras pessoas.

A possibilidade de freqüentar uma Universidade pública e gratuita não deve ser atribuída simplesmente ao governo, que, muito pelo contrário, tem se mostrado cada vez mais distante do princípio do desenvolvimento de uma nação, que deve ter por base a educação e pesquisa. Com estes olhos é que enxergo o esforço constante de pesquisadores que lutam contra a ordem de recesso na educação e promovem o ensino de maneira moderna e ascendente, buscando, cada vez mais, alternativas de financiamento, cooperação e integração com a indústria, para a formação de pessoas cada vez mais capazes.

Durante a realização desta dissertação, tive a oportunidade de conviver com muitas pessoas do meio docente; dentre estas pessoas, gostaria de agradecer ao meu Orientador, Prof. Jair Carlos Koppe, uma pessoa dedicada no exercício de sua atribuição como professor e especialmente importante para o estágio de qualificação que se encontra hoje o Departamento de Engenharia de Minas.

Prof. Carlos Otávio Petter, Coordenador do projeto que permitiu a realização dessa dissertação, uma pessoa exemplar que esteve sempre ao meu lado e que se pode classificar como o grande incentivador deste trabalho. Uma pessoa realmente fora de série.

Prof. João Felipe Costa, professor incansável na realização de trabalhos de qualidade e que realmente me mostrou o caminho de uma dissertação. Particularmente em relação ao assunto abordado nessa dissertação, possui um conhecimento que foi indispensável à realização dessa dissertação. Acima de tudo um grande amigo.

Ao Prof. Carlos Sampaio pela grande pessoa que é, e que além de tudo, permitiu a utilização de recursos e espaço físico em seu laboratório.

Dois colegas foram especialmente importantes para a realização deste trabalho e nestas duas pessoas vejo grandes amigos além de excelentes profissionais e pesquisadores. Marcelo Godoy foi um companheiro incansável ao longo desta dissertação; Armando Valim por outro lado foi o amigo que sempre me motivou pela busca de resultados.

Gostaria de agradecer a todos os colegas dos laboratórios de Planejamento e Pesquisa Mineral (LPM) e Processamento Mineral (LAPROM).

Agradeço a DATAMINE-Latin America pelo apoio e confiança depositados neste estudo, assim como a empresa Caulim da Amazônia – CADAM pela oportunidade da realização do trabalho com os dados exploratórios do Depósito do Morro do Felipe II.

## ***RESUMO***

Este trabalho foi desenvolvido em um depósito de caulim, localizado no estado do Amapá, conhecido por Morro do Felipe II.

A utilização de uma variável para a modelagem e o planejamento de mina, cujo parâmetro de qualidade, cor do minério (quantidade de energia refletida), apresenta problemas de aditividade. Questiona-se quanto ao emprego direto do parâmetro alvura para previsão da qualidade final de uma combinação de alíquotas de produtos distintos. A introdução de uma variável com comportamento adequado faz-se essencial, na medida em que as ferramentas geoestatísticas de modelagem pressupõem uma variável com comportamento regular para efeitos de combinação entre as amostras e os diferentes suportes manipulados. Por esta razão propõe-se uma transformação do parâmetro tradicional de qualidade (alvura - R) para um atributo chamado de Função de Kubelka-Munk (F(R)).

Realizou-se uma modificação na interpretação do modelo geológico do depósito, pela associação de minérios espacialmente estruturados, agrupando as amostras segundo características texturais comuns. Esse artifício permitiu que se buscasse, em melhores condições, a continuidade espacial do modelo geológico modificado. Dois TIPOS principais de minério denominados de TIPO A e de TIPO B, e uma tipologia estéril denominada AREIA, foram identificados

Para a avaliação das reservas e modelagem do Depósito do Morro do Felipe II foram estudadas duas dimensões de blocos para análise comparativa da seletividade produzida em cada um dos modelos. Na modelagem utilizou-se como atributo de qualidade a F(R) e superposições sucessivas de modelos para cada uma das tipologias discretizadas. Ao se obter os modelos definitivos, foi aplicada a relação de retorno para expressão dos resultados finais em termos de alvura. Os resultados foram analisados comparativamente e a média dos dados e as reservas recuperáveis foram os parâmetros que definiram a escolha de um dos modelos.

## ***ABSTRACT***

This work was carried out in a kaolin deposit, sited at Amapá state known like Felipe II deposit.

The use of a variable for mine planning and modelling, in which the quality is measured by color (percent of reflected energy), present some aditivity problems. One could argue about the direct employment of the brightness parameter to predict final quality of a different product mixture. The introduction of a well-behaved variable is essential to apply geostatistical assumptions over a variable with a regular behavior for combination and manipulation among different samples and supports. Therefore, it can be proposed a transformation of the traditional quality parameter (brightness - R) to an attribute called Kubelka-Munk Function (F(R)).

It was made a modified interpretation of the original geological model by grouping ores spatially structured by their common textural characteristics. This has allowed better conditions to search for the spatial continuity of these modified typologies, identifying two main ore structures called TYPE A and TYPE B and sterile typologies named SAND.

For reserves evaluation and modelling for Felipe II deposit two block sizes were studied, for the comparative analysis of selectivity allowed by each model. The modelling sequence was carried out using the F(R) parameter and the successive model superimposing for each discretized typology. When the final models were ready, back transformations were applied to express the final results in terms of brightness. The results were comparatively analyzed and the reproducing of data mean and recoverable reserves were the parameters that defined the choosing of one of these models.

## LISTA DE FIGURAS

<i>figura 2.1 - Mapas de localização da Mina do Felipe II.</i>	5
<i>figura 2.2 - Mapa de superfície triangularizada do Depósito do Felipe II.</i>	7
<i>figura 2.3 - Visualização geral das bancadas de operação e método de lavra.</i>	8
<i>figura 2.4 - Espectro de reflectância, relacionando o comprimento de onda (<math>\lambda</math>) com a alvura.</i>	10
<i>figura 2.5 - Relação Reflectância x Função de Kubelka- Munk.</i>	11
<i>figura 2.6 - Gráfico de correlação das amostras originais com o ganho do separador magnético.</i>	14
<i>figura 2.7 - Reconstituição da homogeneidade amostral por regularização.</i>	15
<i>figura 2.8 - Mapa de localização das amostras.</i>	15
<i>figura 3.1 - Perfil padrão da seqüência caulínica para o Depósito do Felipe II.</i>	16
<i>figura 3.2 - Textura e descrição das tipologias originais identificadas.</i>	18
<i>figura 3.3 - Distribuição de frequência cumulativa e tabela estatística básica por tipologia original.</i>	19
<i>figura 3.4 - Seção vertical apresentando as tipologias modificadas.</i>	20
<i>figura 3.5 - Histogramas dos dados para o tipo a expressos em <math>F(r)</math> e alvura, respectivamente.</i>	22
<i>figura 3.6 - Histogramas dos dados para o tipo b expressos em <math>F(r)</math> e alvura, respectivamente.</i>	22
<i>figura 4.1 - Ajustes variográficos para o TIPO A.</i>	28
<i>figura 4.2 - Ajustes variográficos para o TIPO B.</i>	29
<i>figura 4.3 - Krigagem por blocos.</i>	33
<i>figura 4.4 - Histograma dos dados categorizados.</i>	35
<i>figura 4.5 - Ajuste variográfico para os dados categorizados.</i>	36
<i>figura 5.1 - Fluxuograma geral das etapas do modelamento.</i>	38
<i>figura 5.2 - Curvas de iso-espessura para a cobertura estéril.</i>	39
<i>figura 5.3 - Fluxuograma de superposição dos modelos gerados.</i>	41
<i>figura 5.4 - Restrições sucessivas no modelo de blocos estimado.</i>	42
<i>figura 5.5 - Superfícies delimitadoras do modelo total para a jazida.</i>	43
<i>figura 5.6 - Planta e perfil do modelo para a jazida estimada com blocos de 25x25x1m.</i>	44
<i>figura 5.7 - Planta e perfil do modelo para a jazida estimada com blocos de 50x50x5m.</i>	44
<i>figura 5.8 - Vista tridimensional dos modelos para as duas dimensões estudadas.</i>	44
<i>figura 5.9 - Gráfico tonelagem x qualidade do material (alvura) para a jazida total, comparando as duas dimensões de blocos.</i>	45
<i>figura 5.10 - Gráfico percentagem de reservas x qualidade do material (alvura) para a jazida total, comparando as duas dimensões de blocos.</i>	45

<i>figura 5.11 - Gráfico alvura de corte x alvura média recuperável.</i>	46
<i>figura 5.12 - Vista tridimensional dos dados de sondagem e superfícies delimitadoras para geração do modelo para a porção não minerada da jazida.</i>	47
<i>figura 5.13 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material (alvura) para a porção não minerada da jazida, comparando-se as duas dimensões de blocos.</i>	47
<i>figura 5.14 - Gráfico percentagem de reservas x qualidade do material (alvura) para a porção não minerada da jazida, comparando as duas dimensões de blocos.</i>	48
<i>figura 5.15 - Gráfico alvura de corte x alvura média recuperável.</i>	48
<i>figura 5.16 - Vistas tridimensionais apresentando a intersecção dos blocos estimados com a superfície de topo do tipo a para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.</i>	49
<i>figura 5.17 - Planta e perfil da porção não minerada da jazida para blocos estimados na dimensão de 25 x 25 x 1 m.</i>	50
<i>figura 5.18 - Wireframes gerados para representar os painéis e bancadas projetadas para o avanço da lavra.</i>	51
<i>figura 5.19 - Posição espacial do painel 1 bancada 1 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.</i>	51
<i>figura 5.20 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.</i>	52
<i>figura 5.21 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 1 bancada 1.</i>	52
<i>figura 5.22 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 1 bancada 1.</i>	53
<i>figura 5.23 - Posição espacial do painel 1 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.</i>	54
<i>figura 5.24 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.</i>	54
<i>figura 5.25 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 1 bancada 2.</i>	55
<i>figura 5.26 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 1 bancada 2.</i>	56
<i>figura 5.27 - Posição espacial do painel 1 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.</i>	56
<i>figura 5.28 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.</i>	57
<i>figura 5.29 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 1 bancada 3.</i>	57
<i>figura 5.30 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 1 bancada 3.</i>	58
<i>figura 5.31 - Posição espacial do painel 2 bancada 1 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.</i>	58
<i>figura 5.32 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.</i>	59
<i>figura 5.33 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 2 bancada 1.</i>	59
<i>figura 5.34 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 2 bancada 1.</i>	60

<i>figura 5.35 - Posição espacial do painel 2 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas. _____</i>	<i>60</i>
<i>figura 5.36 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente. _____</i>	<i>61</i>
<i>figura 5.37 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 2 bancada 2. _____</i>	<i>61</i>
<i>figura 5.38 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 2 bancada 2. _____</i>	<i>62</i>
<i>figura 5.39 - Posição espacial do painel 2 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas. _____</i>	<i>62</i>
<i>figura 5.40 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente. _____</i>	<i>63</i>
<i>figura 5.41 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 2 bancada 3. _____</i>	<i>63</i>
<i>figura 5.42 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 2 bancada 3. _____</i>	<i>64</i>
<i>figura 5.43 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente. _____</i>	<i>64</i>
<i>figura 5.44 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 3 bancada 1. _____</i>	<i>65</i>
<i>figura 5.45 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 3 bancada 1. _____</i>	<i>65</i>
<i>figura 5.46 - Posição espacial do painel 3 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas. _____</i>	<i>66</i>
<i>figura 5.47 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente. _____</i>	<i>66</i>
<i>figura 5.48 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 3 bancada 2. _____</i>	<i>67</i>
<i>figura 5.49 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 3 bancada 2. _____</i>	<i>67</i>
<i>figura 5.50 - Posição espacial do painel 3 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas. _____</i>	<i>68</i>
<i>figura 5.51 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente. _____</i>	<i>68</i>
<i>figura 5.52 - Gráfico tonelagem x qualidade do material para o painel 3 bancada 3. _____</i>	<i>69</i>
<i>figura 5.53 - Gráfico teor de corte x teor médio recuperável para o painel 3 bancada 3. _____</i>	<i>69</i>
<i>figura 5.54 - Histogramas dos modelos estimados para as duas dimensões estudadas e para a variável alvura. _____</i>	<i>70</i>
<i>figura 5.55 - Histogramas dos modelos estimados para as duas dimensões estudadas e para a variável <math>f(r)</math>. _____</i>	<i>71</i>
<i>figura 5.56 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente. _____</i>	<i>72</i>
<i>figura 5.57 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente. _____</i>	<i>72</i>
<i>figura 5.58 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente. _____</i>	<i>73</i>
<i>figura 5.59 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente. _____</i>	<i>73</i>

<i>figura 5.60 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.</i>	74
<i>figura 5.61 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.</i>	74
<i>figura 5.62 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.</i>	75
<i>figura 5.63 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.</i>	75
<i>figura 5.64 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.</i>	76
<i>figura 5.65 - Histograma dos blocos estimados pela indicatriz para as dimensões de bloco de 25 x 25 x 1 e 50 x 50 x 5, respectivamente.</i>	77
<i>figura 5.66 - Perfil com os blocos e furos de sondagem com os respectivos valores associados aos intervalos amostrais e aos blocos estimados.</i>	78
<i>figura 5.67 - Perfil com os blocos, furos de sondagem e respectivos valores associados aos intervalos amostrais e aos blocos estimados e probabilidades associadas ao bloco de assumir a condição de estéril.</i>	79

## **LISTA DE TABELAS**

<i>Tabela 5.1 - Tabela de toneladas e recuperação da jazida para diferentes teores de corte.</i>	46
<i>Tabela 5.2 - Tabela de toneladas e recup. da porção não minerada da jazida para diferentes teores de corte.</i>	49
<i>Tabela 5.3 - Resumo estatístico para cada um dos modelos estudados por bancada modelada.</i>	76
<i>Tabela 5.4 - Comparação entre a média dos dados e dos modelos gerados.</i>	77

# CAPÍTULO 1

## *INTRODUÇÃO*

O surgimento de novos materiais, a busca pela competitividade no mercado, a necessidade de otimização e utilização de recursos naturais, induzem as empresas do setor mineral a buscar novas técnicas que possam na auxiliar previsão da qualidade e quantificação dos recursos que exploram.

A definição de um modelo geológico e numérico robusto para um depósito mineral, traduz-se em uma ferramenta poderosa para análise da qualidade do material *in situ* e no cálculo de tonelagens com respectivos teores a movimentar. O conhecimento das reservas bem como do material presente em um painel de avanço projetado, permitem uma avaliação e planejamento coerente a partir de valores estimados, sua variabilidade e até mesmo a incerteza associada a esses utilizando técnicas geoestatísticas. (Matheron, 1971, David, 1977, Journel e Huijbregts, 1978)

Essa dissertação aborda um estudo de caso de um depósito de caulim com produto destinado à indústria do papel, onde o parâmetro tradicional usado no controle da qualidade é medido pela quantidade de energia refletida pelo material (reflectância), conhecido por alvura. Esse atributo não é aditivo, o que significa que não pode ser ponderado em função da massa de alíquotas, produzindo resultados discrepantes do esperado se for utilizada a média ponderada. Para solucionar o problema de estimativa de reservas onde a reflectância do material assume condição de atributo de qualidade, foram buscadas novas alternativas que solucionassem esse problema associado ao parâmetro alvura.

Segundo Petter (1994), a utilização direta do parâmetro alvura no cálculo da média ponderada de misturas produz uma tendência a aproximar-se dos valores de menor qualidade. Ou seja, a utilização direta da alvura em ponderações, produzirá sempre um valor médio subestimado para a qualidade do produto composto da adição dos materiais iniciais. Esses autores sugerem a transformação da alvura em um novo parâmetro denominado Função

de Kubelka-Munk ( $F(R)$ ), o qual possui relação direta com a alvura, porém mantém o comportamento linear a partir de combinação de alíquotas de materiais distintos. Portanto, a implementação desse parâmetro busca a minimização de um erro sistemático onde a cor é a variável relevante. A transformação pôde ser aplicada de maneira simplificada para o caso em estudo, em função da utilização do material correspondente ao produto final do beneficiamento, com características de homogeneidade de tamanho de partícula e de faixa granulométrica reduzida (80% abaixo de  $2\mu$ ).

### ***1.1. PROPOSIÇÃO DO ESTUDO***

A utilização de uma variável espectro-colorimétrica para planejamento da lavra de minérios de caulim vem a ser uma inovação, não pelo fato do emprego dessas técnicas na indústria do caulim, mas pela introdução de um novo parâmetro com comportamento regular. Apesar de existirem trabalhos com a finalidade da quantificação de reservas e planejamento da lavra de caulins, esse estudo propõe uma nova abordagem, ao aplicar um parâmetro nunca antes utilizado nessa área, mas que certamente produz uma resposta mais adequada ao problema da combinação de alíquotas (Petter, 1994).

O emprego de técnicas geoestatísticas só foi possível a partir do estabelecimento de uma variável que seja aditiva, onde as combinações entre as amostras produzem resultados coerentes com a média ponderada esperada. Para a estimativa dos blocos de lavra, foi utilizado esse novo parâmetro colorimétrico associado à concepção de teor, que qualifica um bloco como aproveitável ou não.

Esse estudo foi realizado com os dados fornecidos pela empresa Caulim da Amazônia (CADAM), no Depósito do Felipe II, o qual apresenta-se parcialmente explorado. A proposta desse estudo, volta-se para a solução de um caso de modelamento de jazida direcionado ao conhecimento, quantificação e discriminação das reservas associadas ao parâmetro de qualidade escolhido. Nesse estudo elaborou-se um modelo geológico, definindo duas tipologias principais. A continuidade espacial foi analisada com amostras referentes a cada uma dessas tipologias.

A partir da definição de um modelo geológico, foi estabelecida uma metodologia para a construção de modelos de blocos de diferentes dimensões, com o respectivo parâmetro de qualidade associado às unidades de lavra. A geração de modelos com diferentes dimensões de blocos permitiu a análise e comparação para seleção do modelo que proporcione maior seletividade, aliada à operacionalidade. A geração de modelos de diferentes dimensões

corresponde ao que se chamou de estrutura do estudo, uma vez que todo o desenvolvimento, análise de resultados e conclusões estão baseadas na comparação da seletividade e operacionalidade que uma determinada dimensão de blocos venha a produzir. Para tanto serão apresentados a modelagem global para a jazida, incluindo as porções do corpo já mineradas, ao que se pode chamar de avaliação da jazida. Também é apresentada uma modelagem para a porção não minerada do corpo, representando uma avaliação parcial da zona amostrada, assumindo a condição de um modelo para planejamento de longo prazo. E por fim, é feita uma discretização por painéis de lavra sobre a estimativa de blocos realizada onde pretende-se a introdução da metodologia para análise de seletividade citada acima para emprego como ferramenta de planejamento de médio prazo.

Para geração de um modelo da jazida, foram primeiramente definidos os modelos associados à cobertura estéril, seguido da geração de modelos para a tipologia superior, denominada TIPO A, e para a segunda tipologia, denominada TIPO B. A presença de corpos estéreis no interior da lente caulínica exigiu uma abordagem específica para a identificação de intercalações arenosas, sem a mínima possibilidade de aproveitamento e configurou uma das etapas do modelamento. A superposição desses modelos individuais deu origem à estrutura do modelo final da jazida, sobre o qual foram executadas as análises e as comparações para as diferentes alternativas criadas quanto à dimensão de blocos.

O tipo de depósito em questão apresenta baixa variabilidade associada ao parâmetro de qualidade, assim, com o intuito de produzir informações para o planejamento de médio e de longo prazo da jazida, pois as flutuações locais não são determinantes, foi utilizada estimativa por krigagem (Matheron, 1963). O objetivo da krigagem é prover, a cada ponto ou bloco, uma estimativa  $z^*(x)$ , que se propõe a ser a resposta com menor erro associado aos pontos estimados da variável estudada.

A teoria em que está baseada a ferramenta com a qual foram gerados os resultados desse trabalho, denominada Krigagem, está extensivamente descrita por autores tais como: Isaaks & Srivastava (1989), Journel & Huijbregts (1978), David (1977, 1988).

## **1.2. OBJETIVOS**

- Introduzir a utilização do parâmetro Função de Kubelka-Munk ( $F(R)$ ) como medida de qualidade na lavra para minérios de caulim;
- Avaliar e quantificar as reservas para o caso estudado para que o planejamento da lavra possa realizar um controle quantitativo e qualitativo do material extraído;
- Variar a dimensão de blocos modelados com o intuito de verificar o impacto dessa variação sobre as curvas de tonelagem e qualidade final de minério;
- Identificar zonas do depósito com alta probabilidade de ocorrência de material estéril.

## **1.3. METODOLOGIA**

A observação de um comportamento anômalo do parâmetro alvura levou a que fosse proposta a utilização de uma transformação para a função de Kubelka-Munk por uma relação proposta por Petter 1994. A utilização dessa transformação permite que possam ser aplicados os conceitos da geostatística pois encontrou-se uma variável com comportamento aditivo.

Para quantificar as reservas do Depósito do Felipe II serão aplicados os conceitos de estimativa por krigagem ordinária do parâmetro transformado. O objetivo da estimação é o de fornecer, em cada ponto ( $u$ ), um valor estimado  $z^*(u)$  que seja o mais próximo possível do valor verdadeiro  $z(u)$  (Journel & Huijbregts, 1978).

Utilizando a estimativa por krigagem ordinária será variada a dimensão de blocos para análise da seletividade produzida por cada um dos modelos. Serão comparadas as curvas de qualidade do minério x tonelagem e qualidade do minério x qualidade média recuperável.

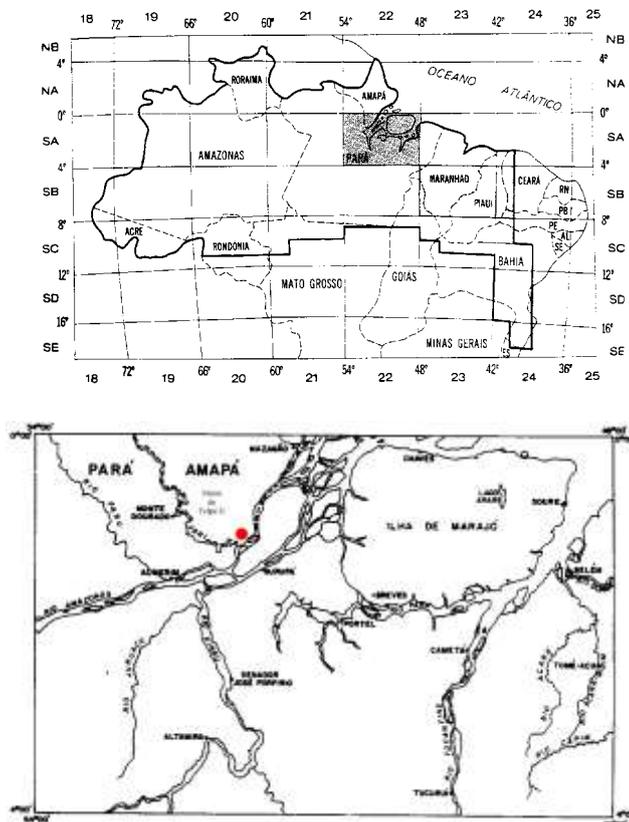
Sobre os modelos de blocos gerados, a partir das informações de sondagem será utilizada a krigagem da indicatriz para localizar as zonas do depósito com alta probabilidade de ocorrência de corpos estéreis.

## CAPÍTULO 2

### *O DEPÓSITO DO MORRO DO FELIPE II*

#### *2.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO*

O Depósito do Felipe II está localizado na Região Norte do Brasil, às margens do Rio Jari no estado do Amapá, fronteira com o estado do Pará. A figura 2.1 identifica a folha cartográfica SA.22 (Belém), na qual está inserida a reserva de caulim estudada. Uma ampliação da folha SA.22 define a localização do Depósito do Felipe II pela área destacada em vermelho. O depósito está localizado à margem esquerda do Rio Jari. O acesso a partir de



*figura 2.1- Mapas de localização do Depósito do Felipe II.*

*Fonte: Projeto RADAM - DNPM, Vol. 5 ,Pag 1/10 - 1974*

Belém, no estado do Pará pode ser por via aérea ou fluvial. Por via aérea há vôos comerciais diários ao município de Monte Dourado, com duração de uma hora e meia. O acesso por via fluvial em embarcação comercial dura em torno de trinta horas. O acesso entre a Monte Dourado e a área industrial é feito através de estrada de terra num percurso de 18 Km. Por a mina estar localizada à margem esquerda do Rio Jari deve-se fazer a travessia de barco para chegar à área de operação da lavra.

## **2.2. ORIGEM DA JAZIDA**

A gênese jazida do Felipe II é atribuída a um processo sedimentar. Produto de degradação de rochas cristalinas existentes no Escudo das Guianas, o caulim foi posteriormente transportado por cursos de água até uma bacia interna, que configura um ambiente de baixa energia de deposição com caráter lacustre (Pickering & Hurst, 1989).

## **2.3. GEOLOGIA REGIONAL**

As camadas de caulim das reservas da CADAM ocupam a parte média dos platôs de idade terciária, na porção nordeste da Bacia Amazônica. Sedimentos Paleozóicos, representados pelas formações Trombetas, Maecuru, Ererê e Curuá, podem ser encontrados ao norte das concessões. Mais próximo aos platôs, é reconhecida a Formação Alter do Chão, datada como Cretáceo Superior. Os platôs são recobertos por uma camada de argila consolidada, denominada de Belterra. Os vales dos rios são ocupados por sedimentos não consolidados recentes.

## **2.4. GEOLOGIA LOCAL**

O corpo mineralizado é recoberto por 18 a 22 m de argilas pouco consolidadas que constituem o capeamento. Abaixo da cobertura é encontrada uma estreita faixa de transição, que contém caulim de baixa qualidade, muito manchado e rico em óxidos de ferro e alumínio. O caulim de boa qualidade é encontrado a partir desse ponto, apresentando 30 metros, em média, de minério lavrável. O corpo mineralizado é dividido em duas faixas distintas: uma superior, constituída por argila pouco arenosa, amarelada, porosa e não estratificada, e uma inferior, constituída por uma faixa laterizada de 2 a 3 m de espessura.

### 2.5. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CAULIM DO MORRO DO FELIPE II

O caulim do Depósito do Felipe II é composto basicamente de caulinita. Possui também quartzo, em proporções normalmente inferiores a 5%, e óxidos de ferro e titânio em quantidades menores do que 1% podendo alcançar até 3%, em materiais menos nobres (Duarte & Koutschoubey, 1994)

O minério do Depósito do Felipe II material possui uma distribuição granulométrica bastante homogênea, onde mais de 80% dos grãos encontram-se abaixo de  $2\mu$ . Esse material possui baixa viscosidade e uma densidade *in situ* de  $1,9 \text{ g/cm}^3$ .

O caulim em questão apresenta-se disposto em camadas e bem classificado. As transições entre as seqüências caulíníticas evidenciam o ambiente geológico de águas calmas e distante das áreas fontes e intemperismo da época em que foram depositadas. (Pickering & Hurst, 1989).

A figura 2.2 mostra a situação geral da mina, com a localização espacial de algumas referências principais, em uma superfície topográfica triangularizada.

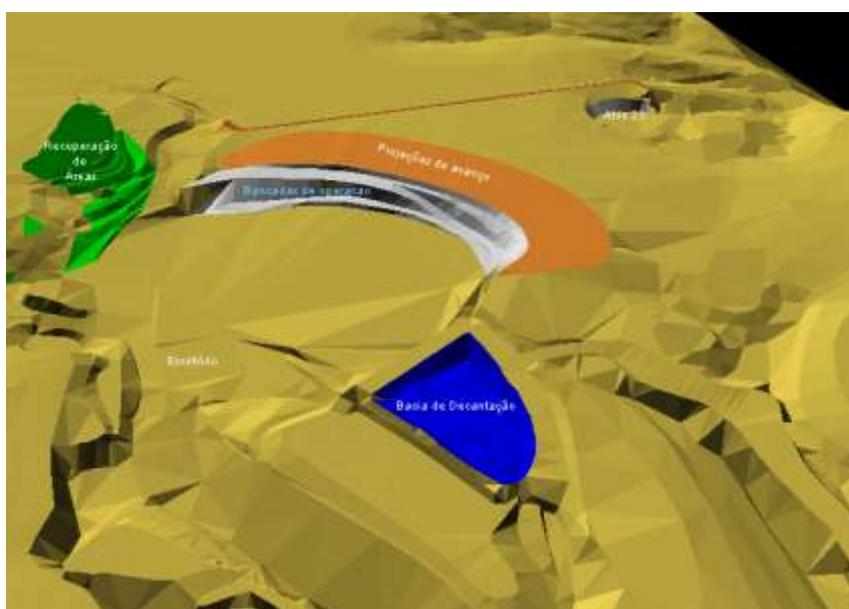


figura 2.2 - Mapa de superfície triangularizada da área do Depósito do Felipe II.

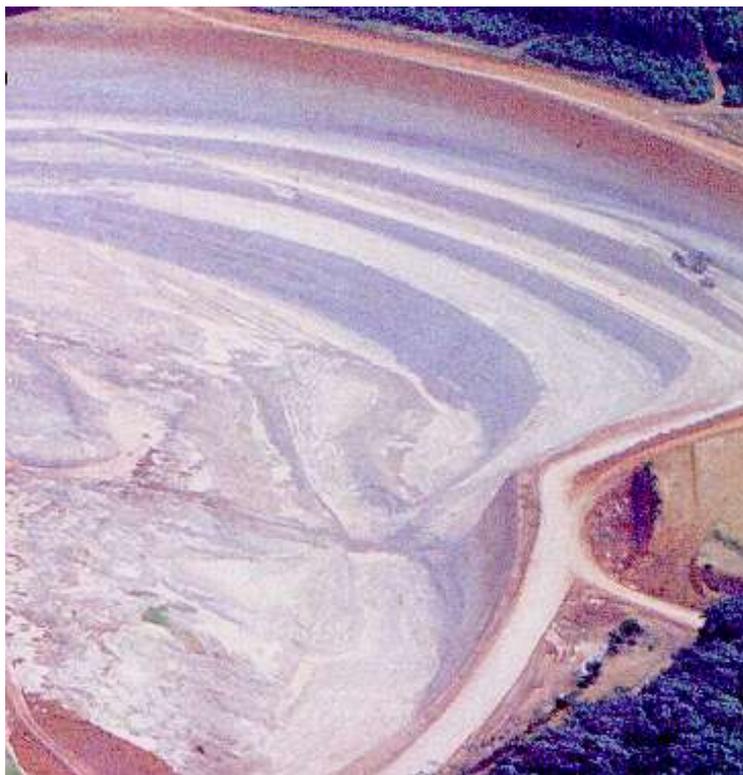
### 2.6. MÉTODO DE LAVRA

Atualmente o caulim é lavrado em múltiplas camadas com uma única frente de lavra, pelo método *Stripping Mining*. Basicamente as operações unitárias são constituídas por:

- decapamento da cobertura estéril por moto-scrapers e carregadeiras;

- desagregação do minério por escarificador acoplado a trator de esteiras;
- extração do minério escarificado por *moto-scraeper* em sistema *back-push* com trator de esteiras.

A figura 2.3 apresenta uma vista panorâmica das bancadas de lavra na área em operação na Depósito do Felipe II.



*figura 2.3 - Visualização geral das bancadas de operação e método de lavra.*

**Fonte: Folder Publicitário - CADAM**

## **2.7. MINÉRIO E PARÂMETRO DE ESTUDO**

### **2.7.1 O CAULIM**

#### **2.7.1.1 DEFINIÇÃO PADRÃO**

O caulim é uma argila branca composta principalmente de plaquetas de caulinita com baixa granulometria e com a seguinte composição teórica:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

### **2.7.1.2 DESTINO DO PRODUTO BENEFICIADO**

No caso estudado o caulim se destina à indústria do papel. O caulim entra como componente da cobertura (*coating*) e carga mineral (*filler*). A larga utilização do caulim como carga deve-se principalmente ao seu baixo custo, alta disponibilidade e às suas propriedades de baixa abrasividade e alvura elevada. Para a fabricação de papel de alto índice de alvura, opacidade e brilho, é necessária a cobertura da folha com uma mistura de pigmento, aditivos e adesivos (tinta de revestimento), na qual o pigmento é um de seus componentes principais. Por consequência de suas características naturais, o caulim tornou-se o pigmento mais adequado para tintas de revestimento. Nessas condições, o caulim deve possuir as seguintes propriedades:

- Baixa viscosidade: proporciona um bom aproveitamento da polpa de caulim no espalhamento dessa na superfície a ser recoberta.
- Baixa granulometria: proporciona um acabamento à superfície recoberta preenchendo as irregularidades, determinando a textura de um papel.
- Alvura intensa: Identifica a quantidade de luz refletida por um material concedendo a esse a noção de brancura e brilho de acordo com propriedades do caulim utilizado na cobertura.

O uso do caulim como carga ou como cobertura, pressupõe que o minério em seu estado natural, após beneficiamento, apresente limites definidos para os parâmetros alvura (reflectância a 457 nm, sob condições específicas de geometria de medição), granulometria e viscosidade. A figura 2.4, representa um espectro de reflectância e o comprimento de onda a que está relacionada a alvura (R).

### **2.7.2 O PARÂMETRO EM ESTUDO**

O Depósito do Felipe II possui excelentes características naturais quanto à granulometria e viscosidade. Portanto, a abordagem dada aqui está centrada somente no parâmetro alvura. Esse parâmetro pode ser comparado ao teor em minérios metálicos, onde a exemplo do valor agregado, uma quantidade de caulim terá seu valor ditado pela quantidade de energia refletida. O valor expresso pela alvura é obtido a um determinado comprimento de onda (457 nm) (figura 2.4).

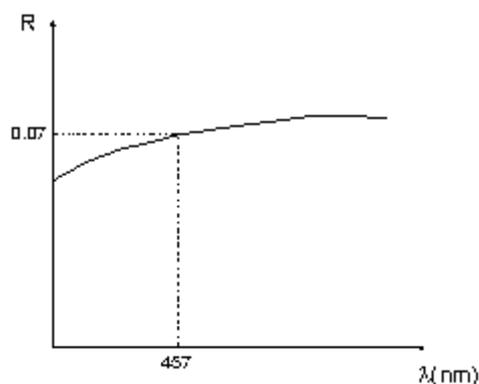


figura 2.4 - Espectro de reflectância relacionando o comprimento de onda ( $\lambda$ ) com a alvura.

### 2.7.2.1 PROBLEMAS RELATIVOS À NATUREZA DO PARÂMETRO ALVURA

A alvura, por se tratar de uma quantidade de energia refletida, não responde ao que se pode chamar de comportamento aditivo. Ou seja, misturando-se duas alíquotas de materiais com alvuras distintas, não será obtido necessariamente o valor médio ponderado pela massa e qualidade de cada material. Portanto, o parâmetro alvura, apesar de tradicional na indústria de caulim, apresenta problemas em relação à ponderação em função da massa e valor de alvura de alíquotas de minério com qualidades distintas. É sabido que o parâmetro alvura tende a apresentar desvios do valor médio esperado, o que implica no questionamento da utilização direta da alvura como variável de medição e emprego na avaliação e planejamento da jazida. Devido a essa questão particular, foram buscadas outras alternativas de medição e a melhor resposta foi obtida com o parâmetro usado na indústria de tintas, denominado Função de Kubelka-Munk ( $F(R)$ ) (Petter, 1994). Essa Função possui uma relação estrita com o espectro de reflectância de uma amostra a um determinado comprimento de onda (no caso específico 457 nm) para produtos de mesma granulometria.

A relação entre alvura e  $F(R)$  é expressa pela equação (2.1)

(2.1)

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

onde:

R = alvura

$F(R)$  = função de Kubelka-Munk

E a relação inversa dada pela equação (2.2), retorna o valor em alvura para um dado valor da função de Kubelka-Munk:

(2.2)

$$R = 1 + F(R) - \sqrt{(F(R))^2 + 2F(R)}$$

A introdução desse parâmetro minimiza o erro incorrido ao se manipular com alíquotas de materiais onde a alvura venha a ser o parâmetro de qualidade, sejam essas alíquotas amostras, ou mesmo blocos de lavra. A utilização de uma variável com comportamento regular para efeitos de ponderação, faz-se indispensável para que se possa buscar, em melhores condições, o objetivo final do trabalho. Após a discretização de blocos com os respectivos valores médios da Função de Kubelka-Munk associados, espera-se poder prever alvura final de combinação de blocos distintos da jazida, melhorando o aproveitamento da jazida e reduzindo o custo de tratamento do minério.

Outra transformação necessária realizada foi a multiplicação da variável  $F(R)$  por um fator 1000 para evitar erros de arredondamento e truncamento. Portanto, esse fator deve ser adicionado à fórmula de retorno (equação 2.2), dividindo o fator  $F(R)$  em cada um dos termos e resultando na equação (2.3).

(2.3)

$$R = 1 + \left( \frac{F(R)}{1000} \right) - \sqrt{\left( \frac{F(R)}{1000} \right)^2 + 2 \left( \frac{F(R)}{1000} \right)}$$

A figura 2.5 abaixo, mostra com clareza o problema da ponderação direta pelo parâmetro alvura, onde a média dos  $F(R)$  não corresponde à média das alvuras ponderadas pela massa. A figura se explica da seguinte maneira: partindo-se de duas amostras de alvuras distintas (0,7 e 0,9), procede-se com a transformação para o parâmetro  $F(R)$ , realiza-se a média aritmética do parâmetro  $F(R)$  (eixo das abcissas) e por meio da curva de relação  $R \times F(R)$

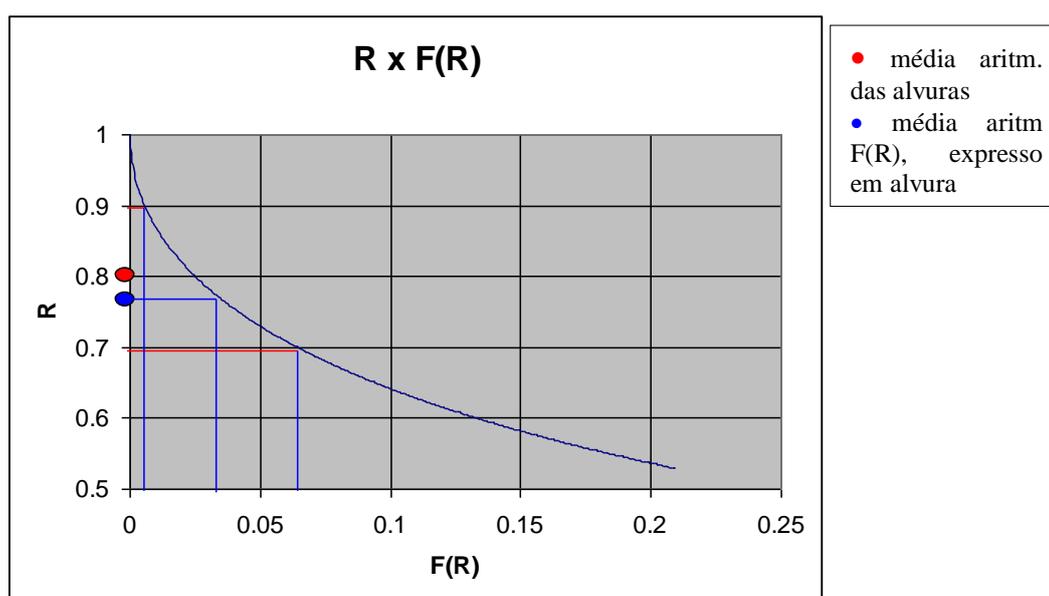


figura 2.5 - Relação Reflectância x Função de Kubelka- Munk.

F(R) retorna-se ao que será o valor médio real ao se misturar as duas amostras iniciais; esse valor será menor do que a média aritmética direta da alvura.

## **2.8. O BANCO DE DADOS**

Os trabalhos de pesquisa geológica tiveram início em meados de 1967, com a abertura de poços manuais e sondagens dispostas de 200 a 500 m. Com objetivo de reconhecer reservas e caracterizar o minério, as amostras foram submetidas a ensaios de laboratório para determinação da alvura, teor de quartzo, umidade, viscosidade, granulometria e recuperação.

Para a implantação e desenvolvimento das atividades de lavra foram executados novos furos de sondagem vertical com testemunhador duplo móvel com diâmetro interno de 50.08 mm em uma malha amostral regular no plano XY, de 50 x 50 m. Os furos atingem 52 m de profundidade média, sendo que os primeiros 20 m relativos ao capeamento são destruídos. A descrição ao longo da direção vertical foi conduzida pela coleta irregular de amostras que representam intervalos de até 2.50 m, de acordo com a mudança na tipologia do minério.

### **2.8.1 BANCO DE DADOS ORIGINAL**

Ao finalizar a montagem do banco de dados com de 180 furos de sondagem e amostragem irregular ao longo desses, totalizou-se 3714 dados amostrais, que contém as seguintes informações:

1. BHID: campo alfanumérico que contém a identificação dos furos de sondagem;
2. NORTH: campo numérico que contém informações de coordenada UTM no eixo Y;
3. EAST: campo numérico que contém informações de coordenada UTM no eixo X;
4. COTAS: campo numérico que contém informações de elevação da boca do furo em relação ao nível médio do mar, em metros;
5. FROM: campo numérico que contém informações de elevação em relação à superfície do topo do intervalo amostral, em metros;
6. TO: campo numérico que contém informações de elevação em relação à superfície da base do intervalo amostral, em metros;

7. ALVURA1: campo numérico que contém a informação da variável alvura bruta para cada intervalo amostral. A alvura é medida após moagem peneiramento a 100 mesh e secagem em estufa, expressa pela percentagem de energia refletida;
8. ALVURA2: campo numérico que contém informação da variável alvura do desareiado para cada intervalo amostral. A alvura é medida após peneiramento a 100 mesh e centrifugação por 1 minuto, expressa pela percentagem de energia refletida;
9. ALVURA3: campo numérico que contém a informação da variável alvura medida após processos iniciais e adição de hidrosulfito de sódio a 0,15% e 3 horas de residência, expressa pela percentagem de energia refletida;
10. ALVURA4: campo numérico que contém informação da variável alvura medida após processos iniciais e adição de hidrosulfito de sódio a 0,25% e 3 horas de residência, expressa pela percentagem de energia refletida;
11. F(R)4: campo numérico que contém informações da Função de Kubelka-Munk calculada em relação à alvura 4 com precisão de 6 casas decimais.

A variável F(R)4 foi relacionada ao respectivo valor de alvura e selecionada para a execução do trabalho devido à limitação de utilização da variável F(R). Como citado anteriormente, a utilização da Função de Kubelka Munk sofre restrições em relação a materiais com distribuição granulométrica heterogênea e acima de um determinado tamanho de partícula. Portanto, foi considerada a Alvura final do processo de tratamento como o parâmetro a ser utilizado nesse estudo, por apresentar uma distribuição granulométrica homogênea e por possuir 90% das partículas de caulim abaixo de  $2\mu$ .

### **2.8.2 BANCO DE DADOS MODIFICADO**

As sondagens são identificadas pelas coordenadas UTM do colar do furo e pelos intervalos de cota correspondentes ao topo e à base de cada amostra. A cada amostra está relacionado o ganho de alvura (%), correspondente aos processos de beneficiamento: desareamento, centrifugação e duas etapas de branqueamento químico. Também foi introduzido um fator de melhora na qualidade final do material pela implementação de uma etapa de separação magnética na saída do processo de beneficiamento. Foi implementada uma relação de ajuste aos dados de sondagem anteriores à separação magnética com dados atuais inserindo a capacidade de ganho em alvura com o novo processo. Essa relação é calculada de acordo com o ajuste apresentado na figura 2.6.

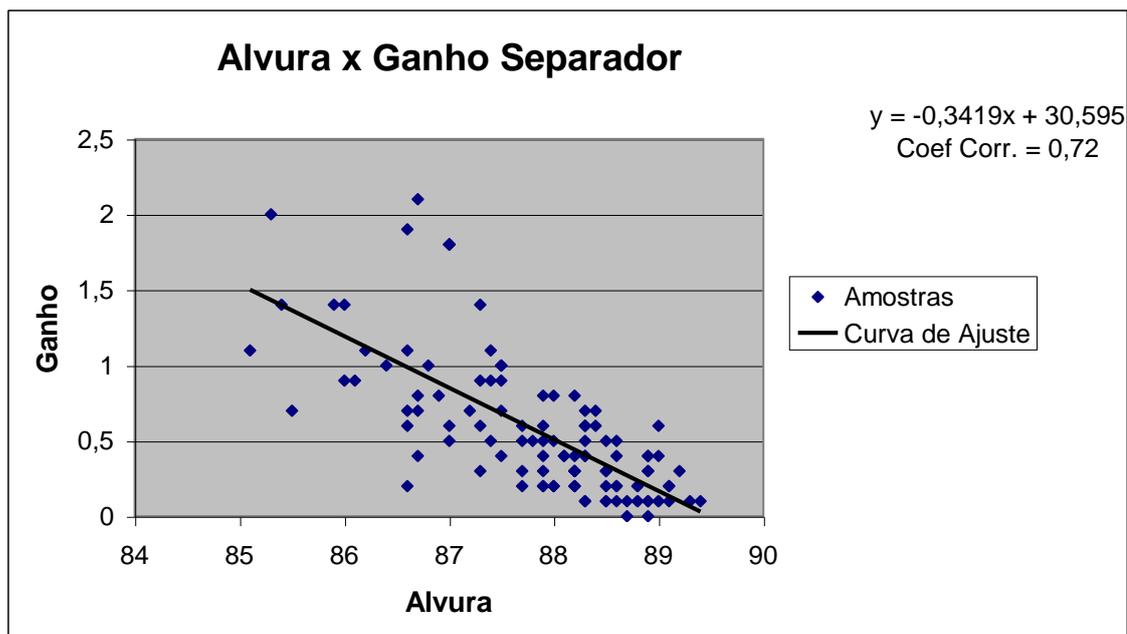


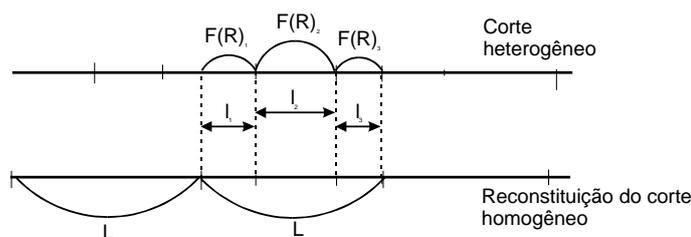
figura 2.6 - Gráfico de correlação das amostras originais com o ganho do separador magnético.

Uma vez adotada a variável Alvura final do processo de beneficiamento e procedendo as transformações correspondentes para a variável  $F(R)$ , uma das primeiras considerações a serem feitas para um estudo geostatístico vem a ser a análise dos dados disponíveis. Para tanto, esses dados devem estar definidos sob o mesmo suporte amostral, ao que podemos chamar aqui de regularização amostral, evitando que a variabilidade espacial apresente-se diferentemente de acordo com tamanho e geometria na qual está definida a amostra. Portanto, se uma análise de dados de sondagem foi desenvolvida heterogeneamente, será necessária a reconstituição da homogeneidade amostral, ao que na prática podemos chamar de definir as amostras em um mesmo volume (Journel & Huijbregts, 1978).

Para resolver o problema da heterogeneidade amostral foi realizada uma composição das amostras segundo a direção vertical, considerando o parâmetro de qualidade e a tipologia associada a cada uma das amostras. Foi utilizada uma média ponderada do comprimento da amostra pelo seu valor de qualidade de acordo com a equação 2.4 e a figura 2.7.

(2.4)

$$F(R)_L = \frac{l_1 \cdot F(R)_1 + l_2 \cdot F(R)_2 + l_3 \cdot F(R)_3}{(l_1 + l_2 + l_3)}$$



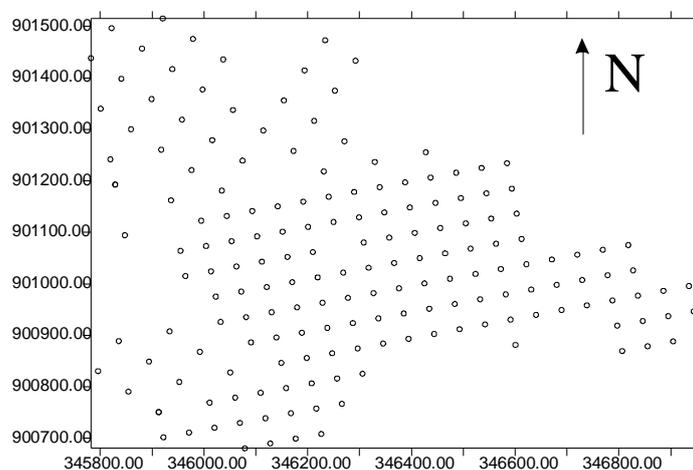
*figura 2.7 - Reconstituição da homogeneidade amostral por regularização  
(Adaptado de Journal e Huijbregts, 1978)*

### 2.8.3 DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL

Um elemento relevante nesse estudo é dependência do atributo de qualidade em relação à locação dos pontos no espaço. O conhecimento da distribuição espacial dos pontos possibilita a inferência a respeito das possíveis relações de uma amostra locada em um determinado ponto  $x$  com as amostras que a circundam. Ferramentas muito utilizadas para observar a relação entre amostras, são o mapas de locação das amostras e mapas de contorno e superfície. Eles proporcionam a visualização de pontos discrepantes (plotados de maneira incorreta, por erros de digitação), ou mesmo revelam certas tendências a partir dos dados em determinada área.

O modo como os dados estão distribuídos e suas características de localização têm importância fundamental no estudo do comportamento dos fenômenos a serem estudados. Uma amostragem tendenciosa, privilegiando determinadas áreas dentro da jazida, ou mesmo alongamento da malha amostral em uma determinada direção podem inserir falsa impressão a respeito do comportamento do corpo mineral.

A figura 2.8 mostra a distribuição espacial das amostras na área do Depósito do Felipe II, em vista superior:



*figura 2.8 - Mapa de localização das amostras.*

# CAPÍTULO 3

## O MODELO GEOLÓGICO

### 3.1. MODELO GEOLÓGICO ORIGINAL

O Depósito do Felipe II foi descrito pelo corpo técnico da empresa (Relatório interno, não publicado) com base em propriedades texturais e mineralógicas das amostras de caulim. A lente de caulim possui espessuras de até 50 metros e apresenta variações faciológicas ao longo principalmente da direção vertical. A amostragem foi realizada de acordo com essa variação ao longo de um furo de sondagem. A figura 3.1 representa um perfil padrão da jazida do Morro do Felipe II com as variações faciológicas identificadas.

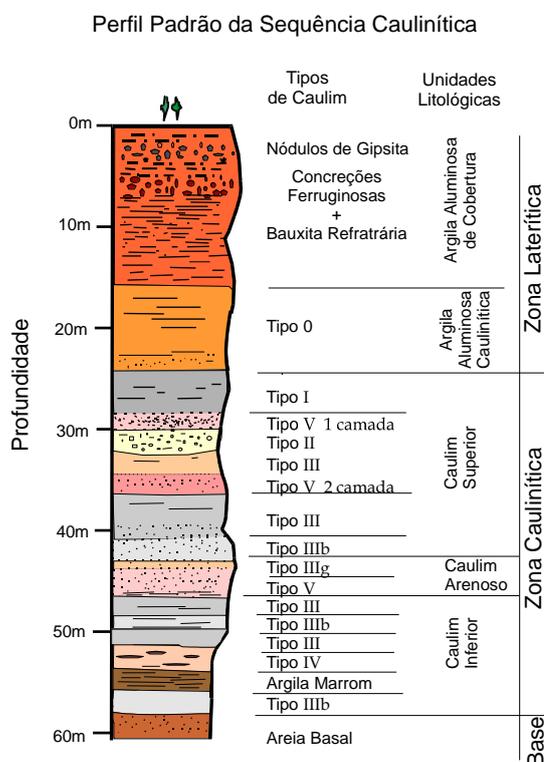


figura 3.1 - Perfil padrão da seqüência caulinitica para o Depósito do Felipe II.

A camada mineralizada apresenta vários tipos de caulim, definidos por parâmetros tais como: cor predominante, densidade aparente, porosidade, presença de fraturas e preenchimento por minerais de ferro e titânio, consistência, presença de palhetas de mica, quantidade de areia e presença e coloração de manchas. Lentes de caulim muito contaminado por minerais de ferro e camadas contínuas de caulim arenoso são consideradas estéreis e descartadas no processo de lavra. Foram reconhecidos em campo os seguintes tipos de caulim:

1. TIPO 0 - Caulim manchado bege-róseo.

Caulim impuro, bege claro a creme com freqüentes manchas róseas e amarelas, é friável, tem alguns grãos de quartzo e muitas cavernas milimétricas preenchidas por material argiloso. Nas fissuras e juntas, existe fina camada vermelho forte ou amarela e marrom.

2. TIPO I - Caulim compacto creme esbranquiçado.

Trata-se da primeira unidade de caulim puro. É compacto e possui abundantes poros que ainda mantêm os grãos de quartzo em parte lixiviados. Apresenta manchas róseas. Os planos de fratura são recobertos por material ferruginoso marrom amarelado, ou marrom escuro.

3. TIPO II - Caulim poroso.

Bastante poroso, com textura alveolar e comportamento homogêneo. A cor é creme clara, com pequenas manchas róseas e vermelhas. Grãos de quartzo corroídos de tamanho entre 0,5mm a 2,0mm são encontrados no interior dos poros. Esse caulim é bem mais leve e friável que os outros tipos.

4. TIPO III - Caulim granular esbranquiçado.

A cor predominante é cinza esbranquiçada com ocasionais manchas irregulares e difusas de cor roxa, lilás-azulada, púrpura ou vermelha. O quartzo corroído ocorre isolado. O sub-tipo 3a é uma variedade densa, coloração branco puro a acinzentado, homogêneo, sem manchas. A textura é fina e compacta. Os sub-tipos 3b e 3g, respectivamente, são muito manchados e possuem palhetas de mica finamente dividida.

5. TIPO IV - Caulim impuro brechóide.

Denso, compacto, cor bege-acinzentado com lentes, manchas e cavernas contendo material argilo-ferruginoso de cores variadas, sendo o amarelo e o marrom as mais comuns. Na base do pacote, ocorre material argiloso com nódulos lateríticos.

## 6. TIPO V - Caulim arenoso.

É uma rocha caulínica de elevado teor de quartzo. A coloração é variada e pode-se observar um bandamento arenoso com diferentes granulometrias. A distribuição é horizontal a sub-horizontal e é encontrado em toda a jazida.

A figura 3.2 apresenta uma descrição sumária e as características texturais de cada uma das tipologias originais. Tipologia foi a designação utilizada para definir a ocorrência dos diferentes tipos de minério de caulim encontrados no Depósito do Felipe II, combinando uma caracterização tecnológica com a descrição geológica dos caulims. A existência de uma grande quantidade de tipologias identificadas pela geologia da mina gerou uma variação muito grande de dados irregularmente amostrados ao longo da descrição dos furos. Portanto se fossem utilizadas essas diversas fácies descritas, as estruturações amostrais teriam sido perdidas pela existência de poucos dados amostrais presentes em cada tipologia original.

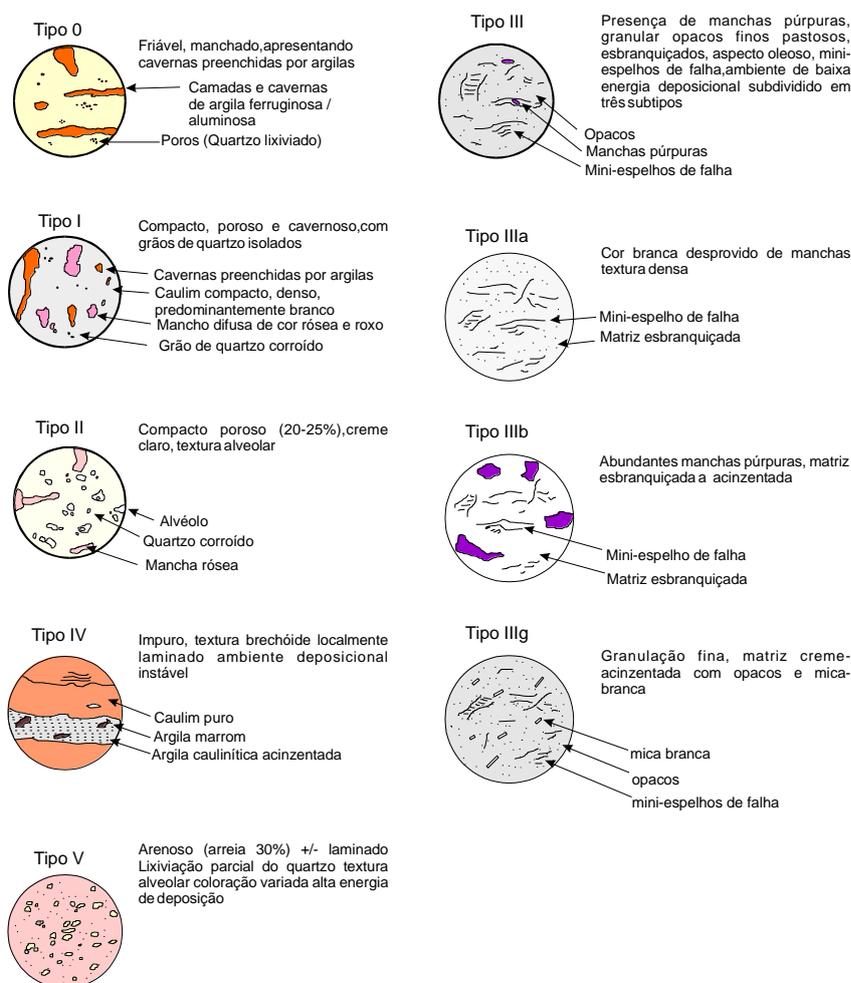


figura 3.2 - Textura e descrição das tipologias originais identificadas.

### 3.2. MODELO MODIFICADO

As nove tipologias existentes foram reagrupadas em quatro tipologias principais, essencialmente segundo suas semelhanças texturais. Essas semelhanças texturais foram definitivas para o reagrupamento das tipologias. Também foi realizada uma análise dos dados por tipologia original e verificou-se que as tipologias amostradas não possuem especificamente uma relação estrita com intervalos de qualidade. Foram observados os intervalos de distribuição por frequência, média e variância para cada uma das tipologias sobre a variável denominada alvura final. Na figura 3.3, são apresentadas as distribuições por frequência cumulativa da variável F(R), que descrevem as tipologias originais.

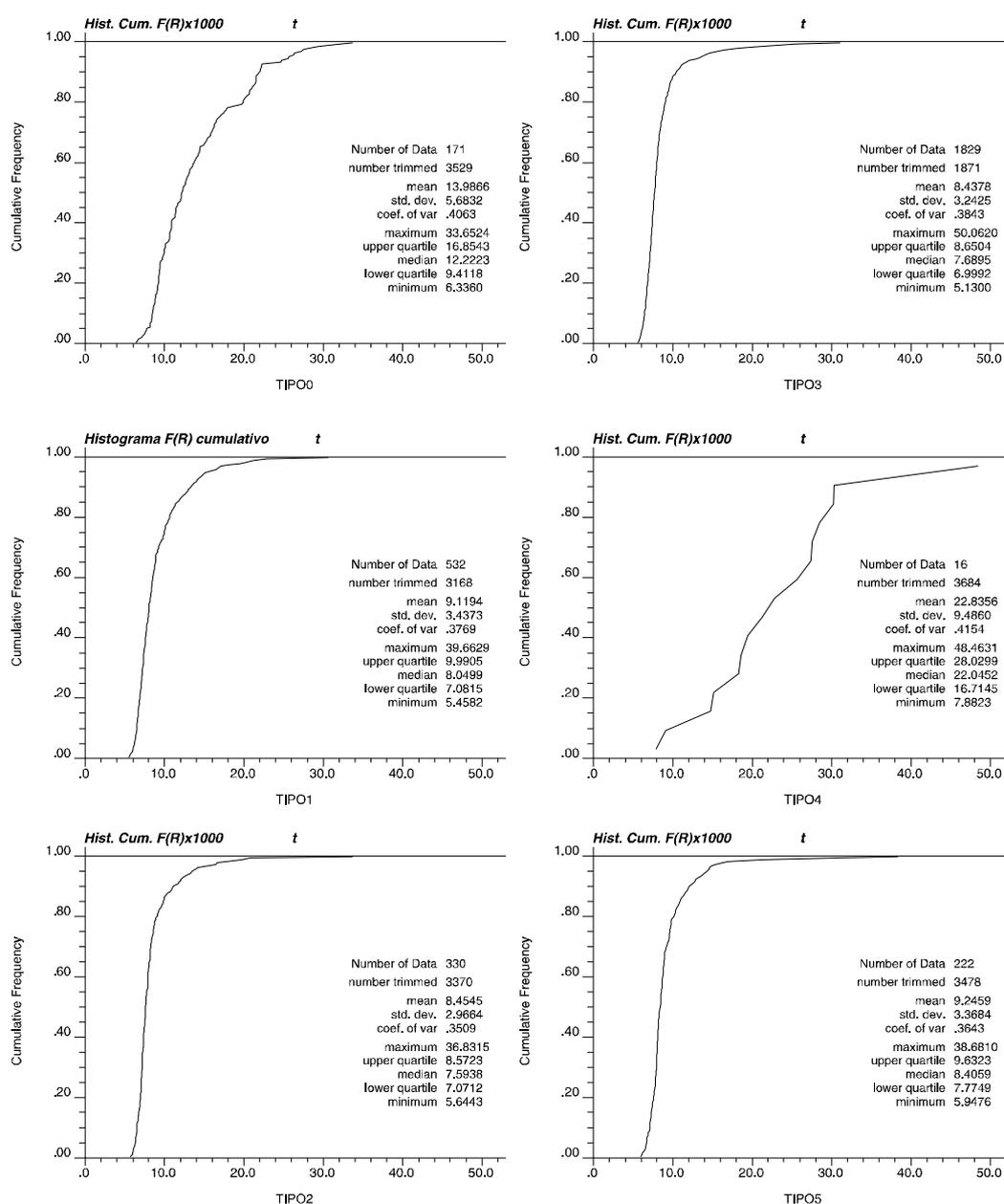


figura 3.3 - Distribuição de frequência cumulativa e tabela estatística básica por Tipologia original.

A observação da figura 3.3 vem a confirmar a inexistência da relação entre as tipologias e um padrão de qualidade do material, pois nenhuma tipologia apresentou algum intervalo de ocorrência preferencial, onde pudesse ser relacionada a tipologia com a qualidade do minério que ela representa. Ou seja, qualquer um dos tipos originais pode assumir a condição de minério ou estéril de acordo com as amostras coletadas. Apesar dos resumos estatísticos associados a cada um dos histogramas cumulativos sugerirem semelhanças em termos de média da distribuição, novamente o posicionamento espacial das amostras e o número de amostras por agrupamento foi decisivo para a decisão de agrupar os TIPOS 0,1 e 2 dentro de um novo TIPO e os TIPOS III dentro de outro TIPO.

Após o agrupamento desses tipos litológicos, em TIPO A, B, C e D, foi verificado que a presença de duas das tipologias principais (TIPOS A e B) se sobressaía sobre as demais (número insignificante de amostras em relação ao agrupamento formado pelos TIPOS A e B). A decisão de anexá-las às estruturas predominantes levou em consideração o número de amostras por tipologia. Partindo-se desse agrupamento foram configuradas duas camadas principais denominadas a partir de agora de TIPO A que englobou os TIPOS originais 0, I, II, e TIPO B que ficou com as amostras correspondentes ao TIPO III e seus sub-tipos. A identificação dessas duas estruturas principais foi essencial no desenvolvimento do trabalho uma vez que a decisão do agrupamento das diferentes tipologias em duas estruturas principais delimitou uma interface nítida subhorizontal entre essas duas estruturas e permitiu a utilização de um banco de dados com muito mais amostras por camada no estudo da variável em questão. A figura 3.4 mostra um perfil representativo, onde estão exibidas todas as tipologias reagrupadas.

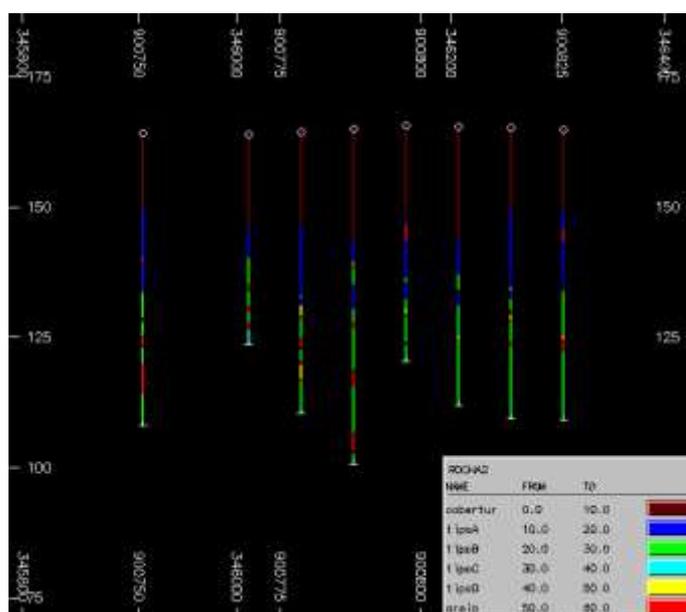


figura 3.4 - Seção vertical apresentando as tipologias modificadas.

Considerando a existência de duas estruturas principais segue-se o estudo para a avaliação do corpo mineral. Mencionou-se a existência de duas tipologias principais utilizando apenas amostras de material considerado de interesse; porém pode-se observar a presença de materiais estéreis identificados como corpos arenosos sem nenhum valor comercial ou mínima possibilidade de aproveitamento inseridos dentro da lente caulínica (figura 3.4). Essas amostras estéreis foram excluídas do banco de dados original para efeito de modelamento, uma vez que elas viriam a interferir na avaliação dos corpos principais. Por essa razão, optou-se pelo estudo da tipologia estéril em separado para posterior superposição do modelo de corpos estéreis ao modelo de corpos de caulim.

A exclusão das amostras correspondentes à AREIA faz com que, ao se proceder a estimativa, blocos que deveriam corresponder à AREIA sejam interpretados pelo interpolador utilizado como blocos de minério. A utilização de um artifício de superposição permite que, em uma segunda etapa de estimativa, utilizando agora os dados de localização espacial dessas intercalações arenosas, adicione-se ao modelo de blocos de minério uma probabilidade de um determinado bloco assumir a condição de estéril ou de minério.

### 3.3. SUMÁRIO ESTATÍSTICO

À estatística, é atribuída a utilização de métodos matemáticos para agrupamento, organização e interpretação dos dados, delineando algumas conclusões e indicando tendências gerais dos dados em uma primeira instância de análise. O estudo estatístico da variável  $F(R)$  para determinar o seu comportamento geral, foi executado em cada uma das estruturas tipológicas discretizadas na jazida e relacionada segundo as figuras 3.5 e 3.6 a seguir. Nessas figuras, são apresentados os gráficos de distribuição por frequência dos dados (histograma).

A variável abordada nas análises estatísticas é o parâmetro  $F(R)$ , considerando todas as modificações realizadas e correções atribuídas. Na realidade, o parâmetro avaliado desde a análise estatística até o modelamento final é o  $F(R)$  multiplicado pelo fator 1000 e corrigido para a etapa de separação magnética.

O histograma constitui-se em uma ferramenta de grande utilidade, pois apresenta os resumos estatísticos por variável e também é usado para análise dos dados em uma distribuição. A análise do histograma pode ajudar a identificar comportamentos anômalos da variável, sugerir a existência de grupamentos, ou populações distintas na distribuição, além de assumir a condição de filtro de erros grosseiros de amostragem, análise e digitação de dados.

As Figuras 3.5 e 3.6 apresentam os histogramas em valores de Alvura e F(R) dos dados para as tipologias A e B. A relação F(R) x Alvura é mantida para que se estabeleça também em termos de alvura a situação de cada um dos tipos. Essa relação faz-se inevitável, uma vez que, ao final desse estudo, os resultados serão gerados em termos de Alvura a partir da transformação do F(R) (figura 2.5). Para o entendimento da distribuição de valores em termos de F(R), há que se mencionar que a boa resposta em termos de qualidade do minério, será obtida para os valores baixos da variável; ou seja, quanto menor o valor da variável melhor será a qualidade do caulim (relação inversa com a alvura de acordo com a equação 2.1).

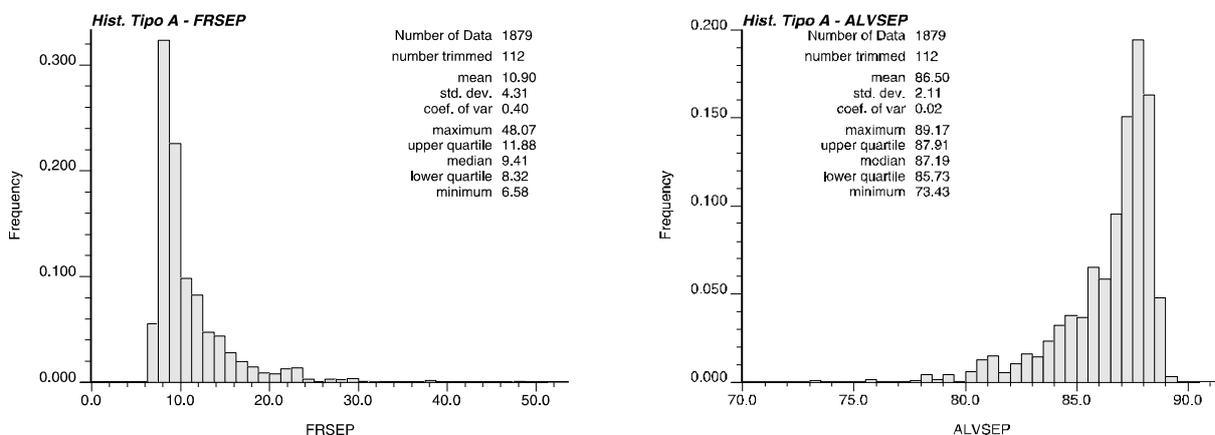


figura 3.5 - Histogramas dos dados para o TIPO A expressos em F(R) e alvura, respectivamente.

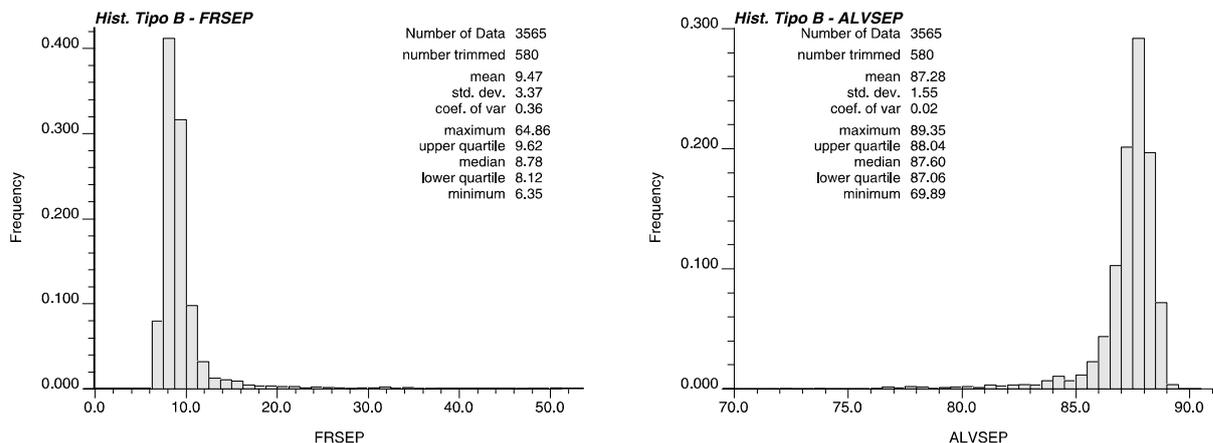


figura 3.6 - Histogramas dos dados para o TIPO B expressos em F(R) e alvura, respectivamente.

Outro detalhe a ser observado é a alta concentração de valores com possibilidade de obtenção de produtos de boa qualidade para ambos os tipos. Uma observação mais detalhada da mediana e quartis inferiores e superiores nas tabelas estatísticas junto aos histogramas verifica a qualidade superior do material presente no TIPO B, onde 75% dos

valores amostrados têm potencial de produção de caulim de boa qualidade, em relação ao material presente no TIPO A, onde 50% dos valores apresentam esse potencial de produção de um caulim com alvura acima de 87.

## CAPÍTULO 4

### *MODELAMENTO DA JAZIDA*

#### *4.1. MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS*

A geoestatística é um ramo da estatística aplicada, que enfatiza o contexto geológico dos dados, a relação que existe entre esses e manipula os diferentes suportes volumétricos sob os quais estão definidas as amostras e serão definidos os resultados de estimativa e de predição, com um determinado grau de precisão e confiabilidade. A geoestatística fundamenta-se na teoria das Variáveis Regionalizadas (Matheron 1971), Essa Teoria explica que uma variável que assume diferentes valores em lugares distintos no espaço possui uma componente aleatória, considerando que valores representativos das características do fenômeno não possuem nenhuma dependência entre si em uma escala de irregularidade local, e uma componente espacial estruturada com as amostras circunvizinhas que reflete as tendências em grande escala do fenômeno. Levando em consideração o fato de que fenômenos naturais não podem ser tratados simplesmente como fenômenos aleatórios, faz-se uso de ferramentas matemáticas que descrevam as duas componentes presentes, no caso específico de eventos de gênese e formação de depósitos minerais.

Modelos estatísticos atribuem a aleatoriedade do fenômeno ao erro enquanto que toda a porção estruturada é atribuída a um fator determinístico. Porém esta não é a realidade de um fenômeno geológico. Uma maneira de interpretar a realidade é a expressão da randomicidade em termos de flutuações em torno de um valor médio local, denominadas de desvios. Flutuações, então, são encaradas não como erros e sim como características ou feições do fenômeno com uma estrutura particular própria.

#### 4.2. *FUNÇÕES RANDÔMICAS*

Os valores observados a cada ponto  $x$  são considerados resultados  $z(x)$  ou realizações de uma variável randômica  $Z(x)$ , onde inclusive os pontos onde não existam medidas, representam valores bem definidos embora desconhecidos. Em termos matemáticos, a família dessas variáveis randômicas é chamada de uma função randômica (Matheron, 1970). Uma função randômica possui a mesma relação para uma de suas realizações assim com uma variável randômica, exceto se a realização de uma função randômica é uma função onde o resultado de uma variável randômica venha a ser um número.

Uma função randômica é caracterizada por possuir uma distribuição dimensional finita; isto é, o agrupamento de distribuições de um conjunto de variáveis quaisquer  $Z(x_1)$ ,  $Z(x_2)$ , ...,  $Z(x_n)$  para qualquer  $n$  e para todos os pontos  $x_1, x_2, x_n$ . Seria impossível construir um modelo que satisfizesse essas condições, permitindo supor que um depósito mineral não seria uma realização de uma função randômica, a menos que fossem assumidas algumas restrições para distribuições de valores.

#### 4.3. *ESTACIONARIDADE E HIPÓTESE INTRÍNSECA*

Em estatística, é comum assumir que uma variável seja estacionária; isto é, sua distribuição é constante sob translação. Da mesma maneira, uma função randômica é homogênea e auto-repetitiva no espaço; isto torna a inferência estatística possível. Portanto, a condição de estacionaridade requer que todos os momentos sejam invariantes, mas considerando que isto não pode ser verificado a partir de dados amostrais restritos, é assumida uma estacionaridade de segunda ordem, onde somente os dois primeiros momentos de ordem (média e covariância) são tidos como constantes. Assume-se então:

$$E(Z(x)) = m(x) = m \quad (4.1)$$

onde:

E - esperança matemática

m - média

O valor esperado (média) da função  $Z(x)$  é constante para todos os pontos  $x$ .

$$E[Z(x)Z(x+h)] - m^2 = C(h) \quad (4.2)$$

onde:

$C(h)$  - covariância no ponto  $h$

A função covariância entre dois pontos  $x$  e  $x+h$  é independente do ponto  $x$ , a qual depende somente do vetor  $h$ .

Na prática é rara a satisfação de todas essas condições considerando um extenso campo amostral, devendo ser inseridas outras condições de atenuação para essas restrições. Para tanto é assumida uma hipótese de estacionaridade local, denominada hipótese intrínseca, o que significa dizer que a média e a variância dos incrementos  $Z(x+h) - Z(x)$  existem e são independentes do ponto  $x$ , também conhecida como condição de quasi-estacionariedade (Hipótese intrínseca com média igual a zero).

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \quad (4.3)$$

$$Var[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \quad (4.4)$$

onde:

$Var[Z(x+h)-Z(x)]$  - variância do ponto  $Z$  na posição  $x+h$ , em relação ao ponto  $Z$  na posição  $x$ .

$2\gamma(h)$  - variograma no ponto  $h$ .

Considerando então que uma variável regionalizada seja estacionária, existe uma equivalência entre o variograma  $2\gamma(h)$  e a covariância  $C(h)$ .

$$2\gamma(h) = \sigma^2 - \tilde{C}(h) \quad (4.5)$$

onde:

$\sigma^2$  - variância da estimativa

$C(h)$ : covariância da estimativa no ponto  $h$

Em contraste com a situação de estacionaridade, quando trabalhamos com variáveis intrínsecas, as operações são definidas somente para incrementos de distância de separação entre amostras. Em situações práticas esse limite incremental pode ser estabelecido pela abrangência de uma zona homogênea dentro de um depósito mineral e pela distribuição dos pontos amostrais no espaço, ou seja, a atribuição de quasi-estacionariedade está diretamente relacionada com a escala de homogeneidade do fenômeno e com a densidade amostral.

#### 4.4. CONTINUIDADE ESPACIAL

A função aqui utilizada como ferramenta geoestatística para descrever a continuidade espacial de uma variável a partir dos pontos amostrais, foi o variograma. A função variograma utiliza feições estatísticas e de similitude entre o ponto a ser estimado com seus vizinhos a uma distância  $h$ , descrevendo o comportamento da continuidade espacial como uma função dessa distância e direção em que estão localizados os pontos amostrais.

Função semivariograma ( $\gamma(h)$ ): Medida tradicional de continuidade espacial definida como a metade da média das diferenças quadráticas entre os valores assumidos por uma variável em um ponto e em outro ponto separado pelo vetor  $h$ .

$$\lambda(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (u_i(x) + u_i(x+h)) \quad (4.6)$$

onde:

$n(h)$  é o número de pares  $x_i$

$u_i(x)$  é o ponto de origem do vetor separação  $h$

$u_i(x+h)$  é o ponto final do vetor  $h$

A função apresentada na equação 4.6 foi utilizada nesse estudo para expressar a continuidade espacial entre as amostras presentes em cada estrutura. No entanto podem ser citadas outras tantas medidas experimentais de correlação espacial tais como, covariograma, correlograma, variograma relativo, ..., funções que também expressam similitude entre pares de amostras em função da distância de separação das amostras.

Os variogramas direcionais e seus respectivos pares de pontos com o valor da função de continuidade associados para ambas as tipologias são mostrados a seguir. Esse estudo de continuidade espacial leva em consideração principalmente a hipótese geológica, considerando deposição sucessiva das camadas de caulim, discretizando duas estruturas acamadadas principais no depósito, amostradas em um *grid* regular por sondagem rotativa.

#### 4.5. VARIOGRAFIA PARA O TIPO A

Para o TIPO A, a função de continuidade espacial que forneceu uma melhor resposta em termos de disposição dos pontos dos pares capturados foi a função variograma. A figura 4.1 apresenta os ajustes variográficos para cada uma das direções de continuidade para o TIPO A.

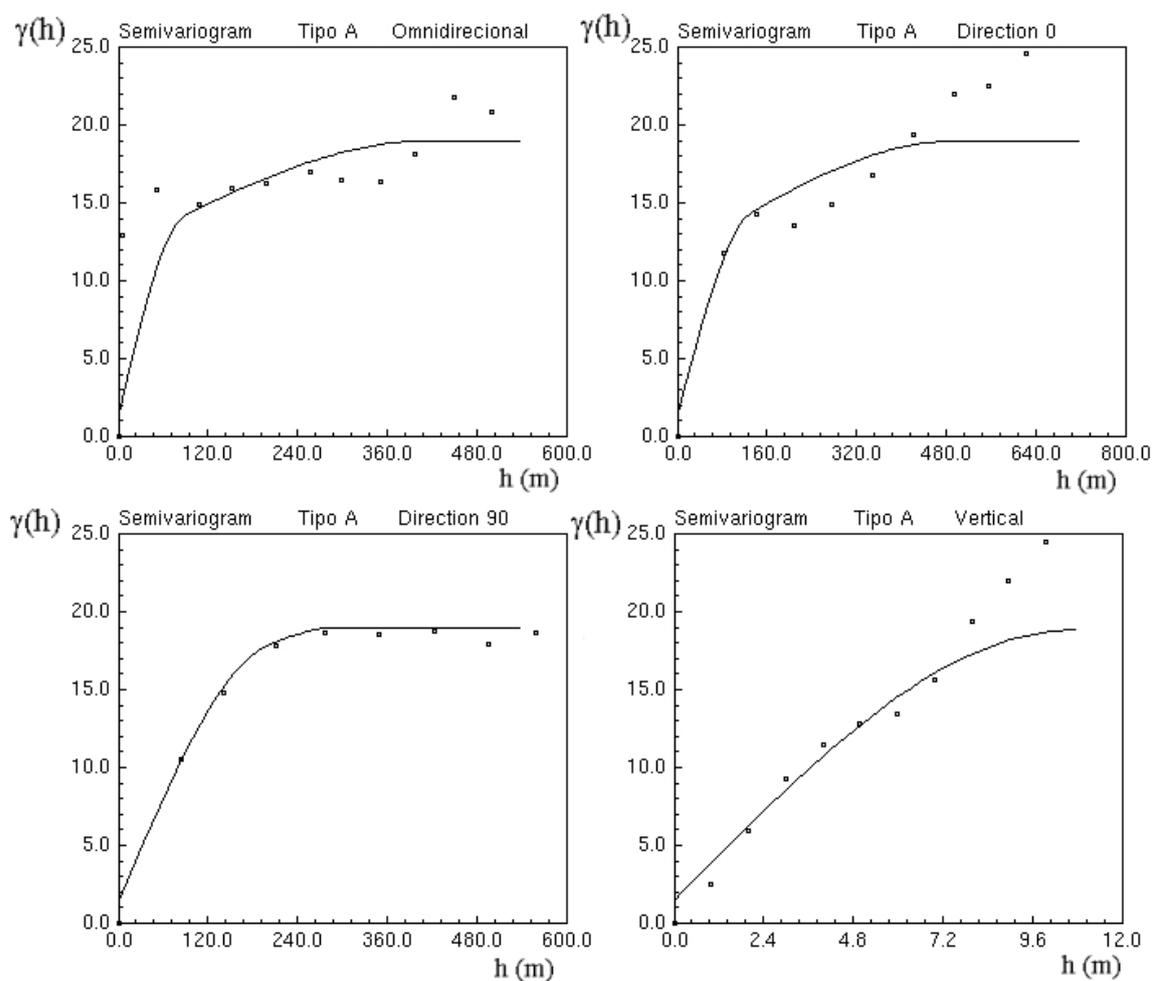


figura 4.1 - Ajustes variográficos para o TIPO A.

O ajuste aos dados experimentais foi realizado utilizando a combinação de dois modelos esféricos. No plano XY o comportamento quase isotrópico da Tipologia A pode ser verificado quando observados os alcances da função variograma nas direções de continuidade capturadas, com uma anisotropia para estruturas alinhadas segundo a direção leste-oeste ( $90^\circ$ ), que apresentou um alcance de 330 m, apenas 15 m superior à direção norte-sul. A maior variabilidade, como era de se esperar, conforme o tipo de jazimento em questão, foi

observada segundo a direção vertical (90°), onde a distância máxima de separação das amostras com correlação espacial ficou em 12 m. A equação 4.7 apresenta a combinação das estruturas ajustadas ao variograma experimental para o minério TIPO A.

$$\gamma(h_x, h_y, h_z) = 1.5 + 10 Sph \left( \sqrt{\left(\frac{h_x}{180}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{190}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{10}\right)^2} \right) + 7.5 Sph \left( \sqrt{\left(\frac{h_x}{315}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{330}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{12}\right)^2} \right) \quad (4.7)$$

#### 4.6. VARIOGRAFIA PARA O TIPO B

Para o minério TIPO B, a função de continuidade que expressou melhor comportamento para os pares de pontos experimentais também foi a função variograma, a qual está representada pelos gráficos da figura 4.2.

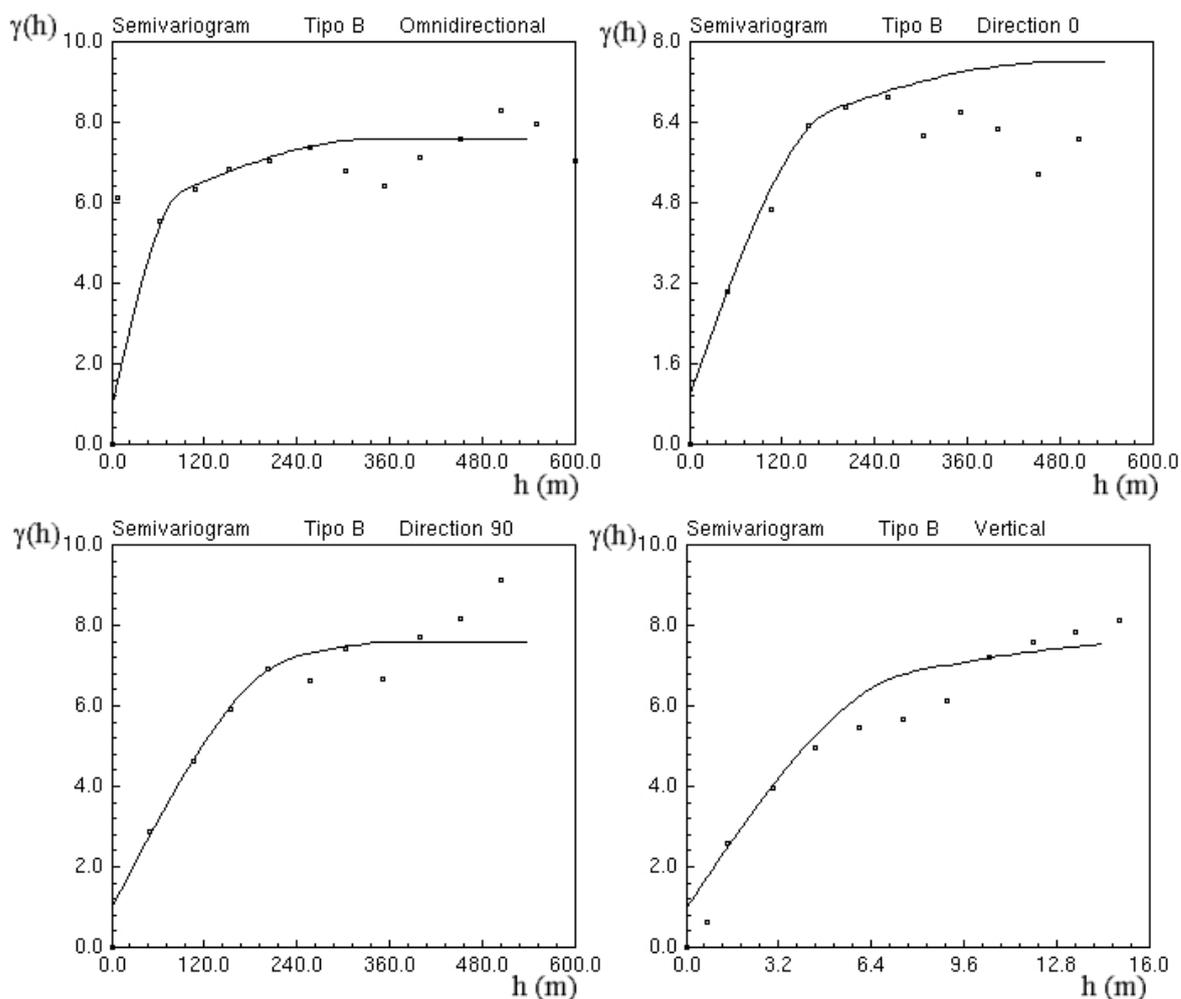


figura 4.2 - Ajustes variográficos para o TIPO B.

Esses gráficos (figura 4.7) representam o ajuste do modelo teórico de continuidade aos pontos experimentais do variograma para o TIPO B. Obtido a partir da utilização de duas estruturas esféricas, apresentando uma leve anisotropia geométrica no plano XY e que privilegiam as estruturas definidas pelos pares de pontos alinhados segundo a direção leste-oeste (90°).

Para as duas estruturas geológicas discretizadas, foram obtidos resultados semelhantes. Atribuindo-se uma maior estruturação espacial às amostras dispostas segundo a direção leste-oeste e apresentando uma pequena anisotropia geométrica no plano XY e maior variabilidade segundo a direção vertical. É importante citar que os resultados aqui obtidos não são produto de criação de dados, mas sim de um tratamento dispensado a esses. Portanto, as informações geradas são reflexo da acuracidade com que as informações de campo foram coletadas para tentar reproduzir o comportamento do corpo mineral, considerando os ajustes e a estimativa realizada. A equação 4.8 apresenta o ajuste das funções combinadas para o variograma experimental do minério TIPO B.

$$\gamma(h_x, h_y, h_z) = 1.0 + 4.5 Sph \left( \sqrt{\left(\frac{h_x}{204}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{208}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{7.7}\right)^2} \right) + 2.1 Sph \left( \sqrt{\left(\frac{h_x}{430}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{480}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{17}\right)^2} \right) \quad (4.8)$$

#### 4.7. KRIGAGEM ORDINÁRIA POR BLOCOS

Nesse estudo utilizou-se um método de estimativa denominado krigagem. A principal proposta desse método de estimativa é fornecer uma resposta não tendenciosa, obtida a partir da minimização da variância da estimativa, proporcionando um estimador otimizado. Ao método, está associado a sigla B.L.U.E. (Best Linear Unbiased Estimator) traduzida por melhor estimador linear não tendencioso, que pode ser explicado da seguinte maneira:

Linear: Devido ao fato das estimativas serem combinações lineares, atribuindo pesos, aos dados disponíveis;

Não tendenciosa: Porque faz com a média dos erros seja igual a zero;

Melhor: Porque minimiza a variância do erro.

Krigagem é definida como um conjunto de métodos de regressão linear que minimizam a variância da estimativa, a partir da solução de um sistema de equações lineares considerando a relação espacial (covariância) entre as amostras (Olea - 1991).

A diferença básica desse método de estimativa em relação à outros métodos é justamente a minimização da variância do erro. A krigagem, porém, se propõe a um objetivo que em senso prático se faz inatingível uma vez que a média e a variância dos erros é sempre desconhecida (Isaaks e Srivastava - 1989). Isto se deve ao fato de não termos acesso ao valor verdadeiro ao realizarmos a estimativa de uma determinada área. Portanto se não conhecemos a média dos erros não podemos garantir que essa será igual a zero e nem podemos minimizar a variância dos erros porque essa também é desconhecida.

Em krigagem ordinária se faz uso de um modelo probabilístico onde a influência e a variância do erro do modelo podem ser calculados, atribuindo pesos às amostras vizinhas certificando que a média dos erros do modelo venha a ser zero bem como a variância dos erros modelada seja minimizada. Por apresentar independência dos dados amostrais, a variância de krigagem pode somente propor alternativas de disposição das amostras no espaço e não deve ser utilizada como uma medida de acuracidade para uma estimativa.

Ao se mencionar a realização de um modelo, se está admitindo inferências a respeito de locais dentro da área de interesse onde assume-se valores estipulados por esse modelo, uma vez são conhecidos somente os pontos condicionantes correspondentes às amostras. Para estimativa de valores em pontos desconhecidos serão utilizados modelos de função randômica, os quais se baseiam em características estatísticas do fenômeno. A avaliação do modelo gerado só será ratificada pela presença de dados adicionais que venham a corroborar com a estimativa realizada. Citando-se que qualquer informação adicional quantitativa (valores amostrais adicionais) ou qualitativa (informações a respeito do fenômeno de formação) que se puder dispor é considerada bem vinda para o esclarecimento do modelo. Uma vez que estamos lidando com probabilidades e incertezas associadas ao modelo, define-se aqui uma abordagem geostatística da estimativa.

Em modelos probabilísticos os dados disponíveis são tidos como resultados gerados por um processo randômico. Embora muitos fenômenos relacionados à geociências não sejam relacionados a processos simplesmente denotados randômicos, o uso dessa associação é de grande utilidade para o problema de estimativa, uma vez que não podemos dispor de modelos determinísticos para descrever o comportamento de uma variável em qualquer ponto do espaço nesse campo de estudo.

Para tanto a solução probabilística para esse problema consiste da conceitualização de valores desconhecidos que partem de um processo randômico. A resposta parte de um modelo teórico, onde para qualquer ponto desconhecido, nosso modelo é

representado por uma função randômica estacionária que é gerada a partir de diversas variáveis randômicas, atribuídas a cada um dos valores amostrais disponíveis em nosso banco de dados. Qualquer par de variáveis randômicas que tenha uma distribuição conjunta depende somente da direção e magnitude do vetor  $h$  que separa os dois pontos e não da sua locação (hipótese intrínseca).

A equação 4.9 descreve o sistema de krigagem, na forma de matriz. A dedução do sistema de krigagem e as hipóteses assumidas até atingir a forma de relação apresentada pela equação 4.9 pode ser encontrada em Isaaks e Srivastava, 1989 - pag 278 a 289.

$$\begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \dots & \tilde{C}_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{C}_{n1} & \dots & \tilde{C}_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{10} \\ \vdots \\ \tilde{C}_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Essa equação pode ser simplificada escrita como:

$$C \cdot w = D \quad (4.10)$$

onde:

C: representa a matriz das covariâncias entre todos os pontos

W: a matriz incógnita contendo os pesos

D: representa a matriz das covariâncias dos pontos com o ponto a estimar (origem).

A solução do sistema se dá da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} C \cdot w &= D & (4.11) \\ C^{-1} \cdot C \cdot w &= C^{-1} \cdot D \\ I \cdot w &= C^{-1} \cdot D \\ w &= C^{-1} \cdot D \end{aligned}$$

onde:

$C^{-1}$  : inversa da matriz C

I : matriz identidade

Quando assumiu-se pelo modelo de função randômica a mesma média e variância para qualquer variável randômica pode-se obter uma relação entre o variograma e a covariância (equação 4.12).

(4.12)

$$\tilde{\gamma}_{ij} = \tilde{\sigma}^2 - \tilde{C}_{ij}$$

Esse sistema está expresso em termos da covariância entre duas amostras. Para modelar o sistema em termos do variograma, basta substituir nas expressões a covariância, pela expressão que define o variograma.

(4.13)

$$\left\{ \sum_{j=1}^n w_j \tilde{\gamma}_{ij} - \mu = \tilde{\gamma}_{i0} \quad \forall i = 1, \dots, n \right.$$

O sistema descrito na equação (4.9) diz respeito a krigagem por pontos, porém para krigagem por blocos o sistema é essencialmente o mesmo, exceto pelo fato da representação do variograma médio entre os dados amostrais e o bloco. Isto se verifica em termos práticos pela discretização de pontos dentro do bloco onde cada ponto abrange um mesmo volume de influência. Para os modelos gerados, foram discretizados 5 x 5 x 5 pontos para o modelo de blocos com dimensões de 50 x 50 x 5 m, ao passo que para o modelo de 25 x 25 x 1 m foram discretizados pontos em 5 x 5 x 2.

A figura 4.3 apresenta um esquema com o funcionamento da krigagem por blocos. Os pontos amostrais inseridos na elipse de busca são levados em consideração na estimativa de cada um dos pontos discretizados considerando todos os atributos da krigagem, tais como distância do ponto, concentração de pontos, etc. A partir de cada um dos pontos discretizados estimados é feita uma média aritmética desses, considerando que cada um ocupa uma mesma área (ou volume em três dimensões) dentro do bloco a estimar. O ponto que representa o

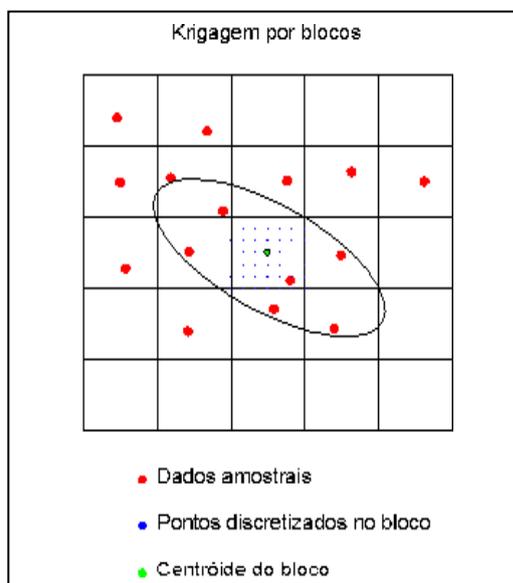


figura 4.3 - Krigagem por blocos.

centróide do bloco contém a média aritmética dos pontos discretizados e assume o valor estimado para o bloco.

#### 4.8. KRIGAGEM DA INDICATRIZ

O problema de predição do tipo de litologia ou fácies de pontos não amostrados é atribuído ao procedimento chamado krigagem da indicatriz (Switzer, 1977, Journel, 1982, 1983, Solow, 1985, Goovaerts, 1994). Esse procedimento estima a probabilidade condicional de um ponto não amostrado assumir ou não, a condição de um determinado atributo considerado.

Krigagem da indicatriz objetiva a estimativa dos dados transformados para uma transformação  $i(u; z_k)$  onde os valores da variável  $z(u) \leq z_k$  assumem o valor 1, ou o valor 0 se maiores que a condição estabelecida ( $z(u) > z_k$ ). A Krigagem da indicatriz fornece uma estimativa por mínimos quadrados para a função de distribuição cumulativa condicional (ccdf) no valor de corte  $z_k$  da função:

$$\begin{aligned} [i(u; z_k)] &= E\{I(u; z_k | (n))\} \\ &= \text{prob}\{Z(u) \leq z_k | (n)\} \end{aligned} \tag{4.14}$$

onde:

$n$  representa os dados condicionantes disponíveis na vizinhança do ponto  $u$ .

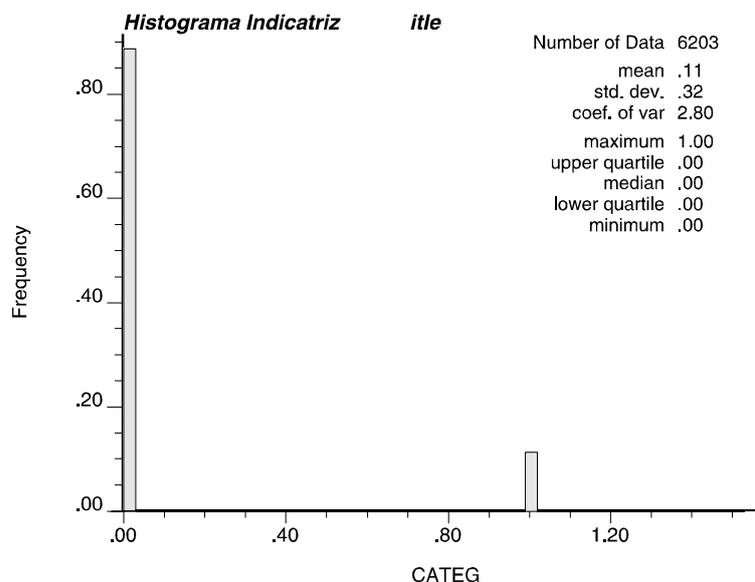
O processo se repete para uma série de  $K$  cortes na função de distribuição, discretizando intervalos de variabilidade para o atributo contínuo  $z$ . A cdf construída a partir da associação dos  $K$  cortes representa um modelo probabilístico de incerteza a respeito do valor não amostrado  $z(u)$ .

Porém se  $z(u)$  for uma variável categórica discreta, ao exemplo de litologias distintas, a categorização é feita pela atribuição do valor 1 a uma litologia e 0 à outra, dispensando a transformação por cortes na função de distribuição, ou seja, a krigagem direta em cima dos dados categorizados fornece uma estimativa de probabilidade para a variável de assumir o valor 1 atribuído a uma das categorias.

$$\begin{cases} 0 & \text{se } z(u) < z \\ 1 & \text{se } z(u) \geq z \end{cases} \tag{4.15}$$

Essa foi a abordagem dada aqui para a identificação dos corpos estéreis que intercalam a lente caulínítica. Ou seja, para amostras que representassem a tipologia AREIA foram atribuídos o valor 1, ao passo que para as amostras que representassem amostras de minério, independente da qualidade ou tipologia desse, foi atribuído o valor 0. Após a categorização das variáveis os valores esperados para a estimativa de probabilidade dos blocos, são justamente valores contidos no intervalo (0, 1), identificando a probabilidade de um determinado bloco assumir a condição de estéril ou minério conforme o valor estimado a partir dos dados amostrais categorizados.

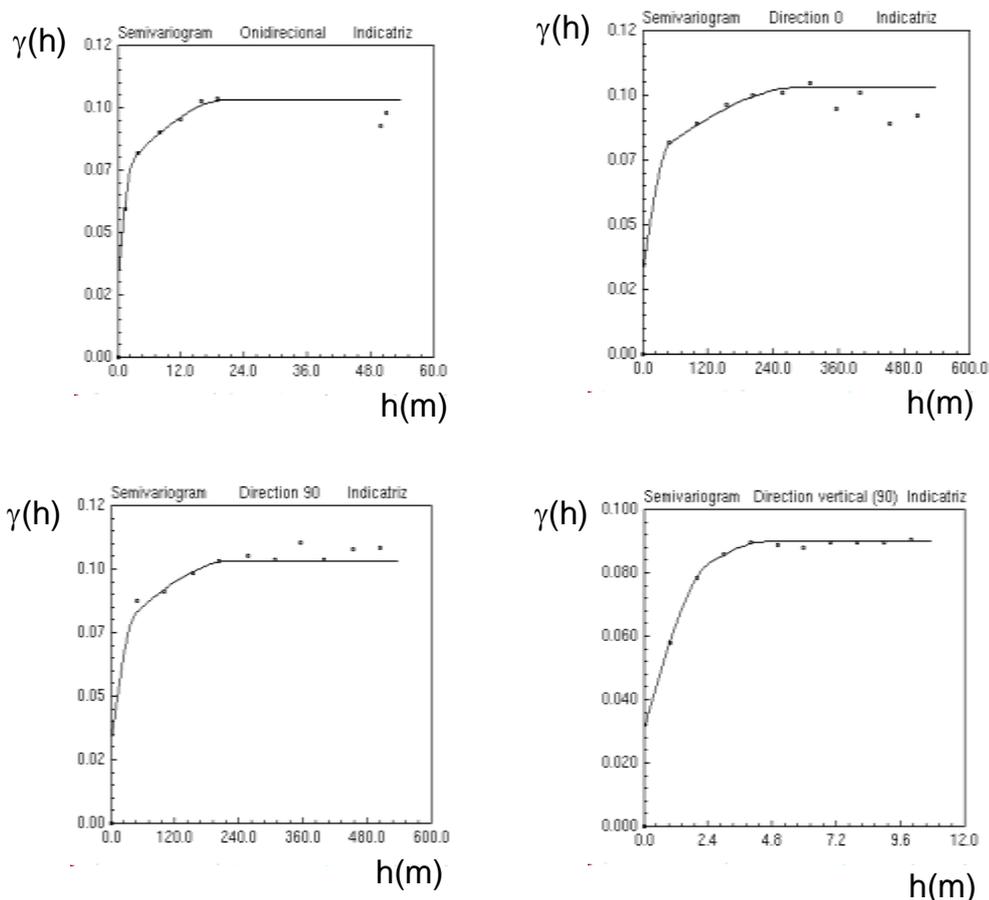
Para a realização da krigagem da indicatriz, da mesma maneira que a krigagem ordinária, se seguem os passos da estatística básica e da captura da continuidade espacial dos dados categorizados. A figura 4.4 representa a distribuição estatística para os dados categorizados.



*figura 4.4 - Histograma dos dados categorizados.*

**4.9. VARIOGRAFIA PARA OS INDICADORES**

A figura 4.5 apresenta o estudo de continuidade espacial para os dados categorizados. Foram utilizadas duas estruturas esféricas para o ajuste do variograma experimental dos dados.



*figura 4.5 - Ajuste variográfico para os dados categorizados.*

A equação 4.16, define as estruturas utilizadas e os parâmetros do variograma para o modelo teórico ajustado

$$\gamma(h_x, h_y, h_z) = 0.031 + 0.04 Sph\left(\sqrt{\left(\frac{h_x}{48}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{43.8}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{2.4}\right)^2}\right) + 0.028 Sph\left(\sqrt{\left(\frac{h_x}{289}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{225}\right)^2 + \left(\frac{h_z}{4.8}\right)^2}\right) \tag{4.16}$$

## CAPÍTULO 5

### *OS MODELOS GERADOS*

Esse capítulo aborda a metodologia empregada para geração dos modelos de blocos para o depósito de caulim do Depósito do Felipe II, aplicando os conceitos anteriormente descritos a visando à solução do problema prático de avaliação de reservas. A partir das informações coletadas, foram gerados modelos com o intuito de representar o comportamento do atributo geológico em estudo para esse corpo mineral. É necessário ressaltar que a representação proposta foi gerada por estimativa a partir dos dados amostrais, assumindo-os como representativos da realidade. Portanto, por mais apurado que tenha sido construído o modelo a distinção entre uma estimativa e a realidade, não deve ser esquecida. Uma predição de valores tem a finalidade de auxiliar a etapa de planejamento, desenvolver e orientar o andamento do processo extrativo, onde a confirmação acerca do valor real de um determinado bloco ou painel só será definitivamente conhecido após esse estar completamente minerado e beneficiado.

A idéia de um modelamento é classificar cada bloco de acordo com o teor estimado e confrontar com o teor de corte estabelecido. Dois parâmetros têm importância fundamental na predição de reservas recuperáveis, o tamanho de uma unidade seletiva de lavra (USL) e teor de corte estabelecido para a jazida em um determinado instante. Por USL se entende a menor volume que pode ser classificado como estéril ou minério (Journel, 1985).

Tendo definido as USLs, curvas de tonelagem x teor são utilizadas para avaliar a distribuição de teores de todas as unidades seletivas que podem ser mineradas no depósito. Se conhecemos essa distribuição podemos aplicar o teor de corte estabelecido e teremos o número de USLs acima do teor de corte e seu respectivo teor médio (David, 1972, Dagbert, 1987). O conjunto dessas funções é chamado de Função de Recuperação e seu estabelecimento é chamado de parametrização de reservas (Remacre, 1985). Com o objetivo

de quantificar e discretizar os materiais presentes na jazida foram geradas as estimativas para a reserva e as curvas de parametrização para o caso estudado.

A geração dos modelos para a jazida, passou por uma seqüência de etapas. Cada um dos passos abordados a seguir foram desenvolvidos utilizando determinados softwares e rotinas computacionais para atingir os objetivos propostos. A figura 5.1 apresenta um fluxuograma distinguindo cada uma das etapas principais do modelamento, até a geração de curvas de parametrização da jazida.

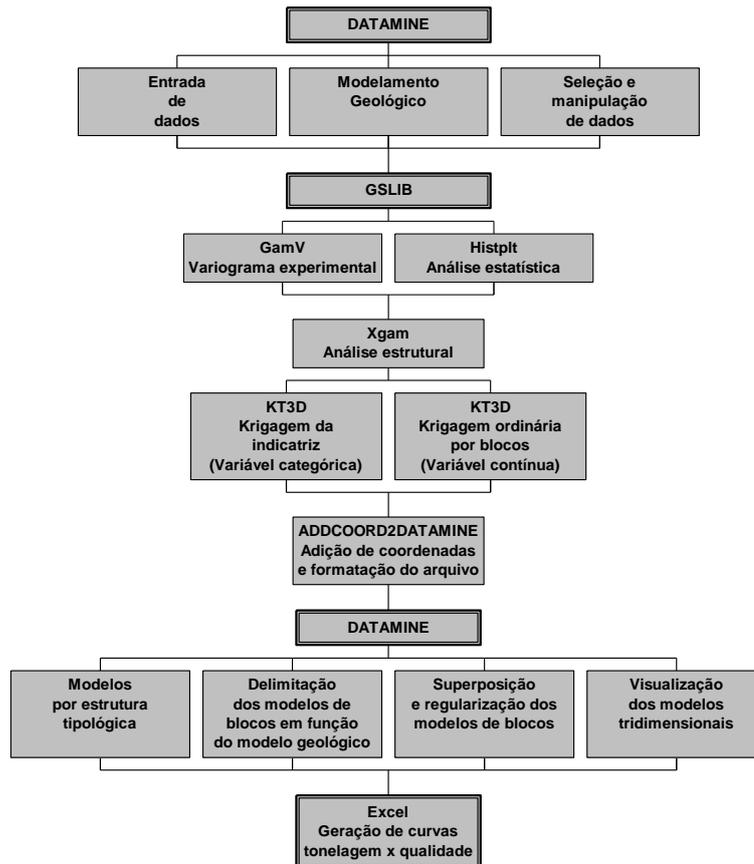


figura 5.1 - Fluxuograma geral das etapas do modelamento <sup>(1)</sup>.

Os modelos gerados estão de acordo com os produtos de operação diários da empresa CADAM segundo informações do processo de beneficiamento. Cada um dos produtos é selecionado de acordo com um intervalo de alvura final a ser atingido, podendo ser citados os seguintes:

Caulim Standard - Produto básico da jazida do Felipe II, trata-se de caulim com alvura final (ISO)<sup>(2)</sup> entre 86.5 a 87.5.

(1) As macros, arquivos de parâmetros e rotinas, podem ser vistos nos anexos 1, 2, 3, 4, 6 respectivamente

(2) Alvura ISO se refere à um método de medição com uma geometria e equipamento específicos, utilizados para adquirir a quantidade de energia refletida por uma amostra, ver anexo 7

Caulim Amazon89 - Produto mais elaborado, com alvura final (ISO) entre 87.5 e 88.0.

Caulim Premium - Produto de alta qualidade, depende do minério proveniente da jazida e processamento pelo separador magnético. Produto de alta alvura destinado a mercado específico. Alvura final (ISO) acima de 88.0.

A identificação de produtos de alta qualidade dentro das reservas do Felipe II abre a possibilidade de um aumento de reservas a partir de misturas de caulins de alta alvura com minérios de menor qualidade, quando blendados podem atingir a qualidade do Caulim Standard. Com o intuito de aproveitar ao máximo o bem mineral, sugere-se aqui a introdução de um produto alternativo chamado Caulim Blending. Esse nome sugere a mistura de minérios de baixa qualidade (alvura (ISO) entre 85.0 e 86.5) com materiais de alta qualidade para produção de, pelo menos, caulim na faixa do Standard.

### 5.1. MODELAMENTO TRIDIMENSIONAL

Para cálculo de volumes de descobertura foi gerado um modelo de blocos para os blocos estéreis situados entre um modelo digital da superfície topográfica e uma superfície de topo da camada A.

O mapa exposto na figura 5.2, mostra curvas de iso-espessura para a cobertura da área amostrada, representando um bom indicativo de zonas onde o excesso de cobertura possa vir a representar um aumento de custo na etapa de decapeamento.

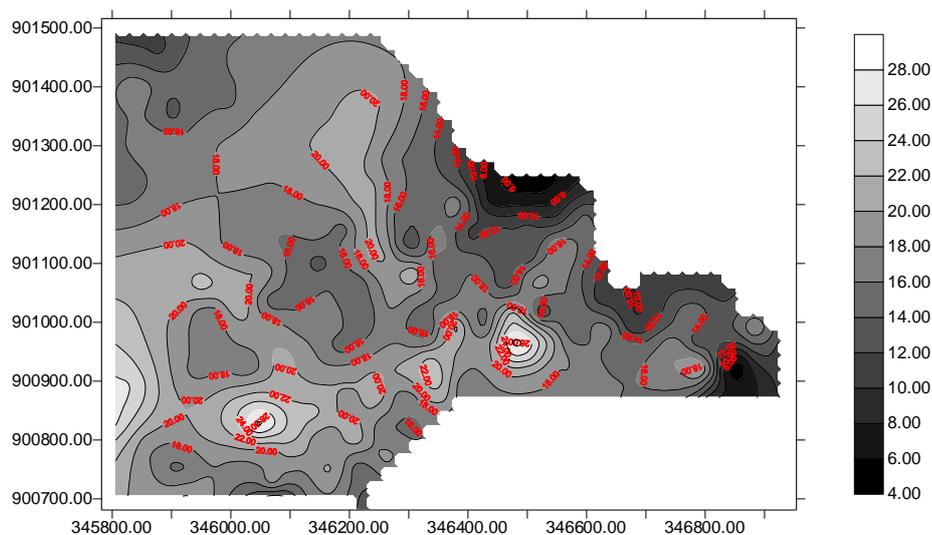


figura 5.2 - Curvas de iso-espessura para a cobertura. estéril

Em um modelamento de jazida, podem ser considerados dois aspectos principais, o modelamento geológico do depósito (definição de limites geológicos) e o modelamento da variação de teores dentro desses limites (Wheeler e Stokes, 1988).

A primeira etapa da geração do modelo de blocos de minério passou pela construção de um modelo representativo da tipologia A, restrito às superfícies digitalizadas e triangularizadas correspondentes ao topo da camada A e topo da camada B. A superfície de topo da camada A representa a interface entre a cobertura estéril e o início do pacote sedimentar caulínico representado pela tipologia A. A superfície de topo da camada B representa a interface entre as tipologias A e B. Dentro dessas envoltórias, os dados foram agrupados e selecionados para concepção do modelo de blocos pertinente à tipologia A.

A segunda etapa da geração dos modelos de blocos de minério, considerou as amostras contidas entre a superfície de topo da camada B e superfície de base da camada B. Da mesma maneira com que foram gerados os modelos anteriores, para a Tipologia B restringiu-se os dados às superfícies citadas acima, assim como os blocos gerados.

Para identificação das estruturas estéreis foram gerados a partir de krigagem da indicatriz os blocos correspondentes aos corpos estéreis na jazida. Utilizando a categorização da variável, gerou-se um arquivo contendo probabilidades de um determinado bloco assumir ou não a condição de estéril ou minério.

A partir da geração dos modelos de minério e de blocos estéreis, a superposição dos modelos foi realizada segundo a seqüência mostrada na figura 5.3.

A adição de modelos gerou um impasse relativo à região de fronteira na superposição dos modelos do TIPO B ao TIPO A. Nessa adição de modelos, inevitavelmente, por não se utilizar sub-blocos no contato com a superfície delimitadora do modelo, são gerados blocos com a mesma identificação espacial para os modelos de cada uma das Tipologias. Portanto em uma superposição simples o último modelo adicionado sempre mantém os atributos relativos ao bloco, ignorando os atributos presentes nos blocos superpostos do modelo anterior. Para solução desse detalhe foi realizada uma ponderação em função do volume do bloco contido dentro de uma superfície e do parâmetro de qualidade que o identifica. Em termos práticos, para melhor entendimento, um bloco de zona de fronteira que estiver 90% contido no modelo para Tipologia A, corresponderá a 10% contido no modelo para a superfície B, assumindo valores diferentes em cada um dos modelos. Portanto o valor atribuído a esse bloco será dado pela equação 5.1.

(5.1)

$$F(R)_{BLOCO} = \left( F(R)_{TIPOA} \times \%_{TIPOA} \right) + \left( F(R)_{TIPOB} \times \%_{TIPOB} \right)$$

Ressalta-se que o parâmetro utilizado nessa ponderação foi o F(R), pois mais uma vez estamos utilizando uma combinação de alíquotas em função da qualidade do material.

Segundo essa metodologia de superposição foram concebidos três níveis de modelamento para a estruturação dos modelos gerados. Os modelos diferem basicamente em área e volume de determinados pela abrangência das superfícies delimitadoras utilizadas para cada um dos casos.

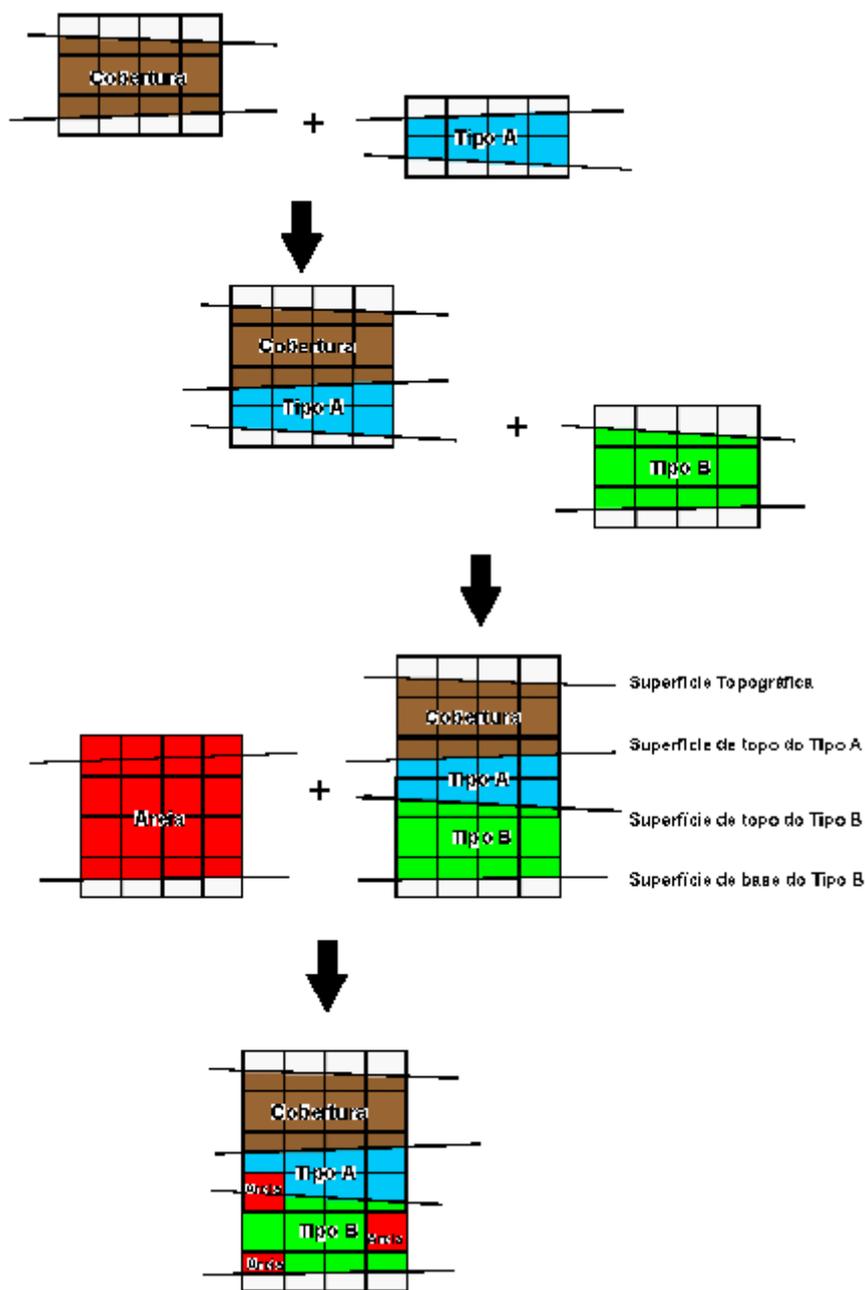


figura 5.3 - Fluxuograma de superposição dos modelos gerados.

- Modelo completo para a jazida - Representa um modelo da jazida para conhecimento das reservas anteriores ao início da operação de lavra
- Modelo para a jazida da porção não minerada - Representa um modelo de reservas a minerar para planejamento de longo prazo.
- Modelos para bancadas de lavra - Representam modelos para cada uma das bancadas de lavra com a finalidade de planejamento a médio prazo.

A utilização de diferentes superfícies delimitadoras cada vez mais restritas geraram os modelos apresentados pela figura 5.4.

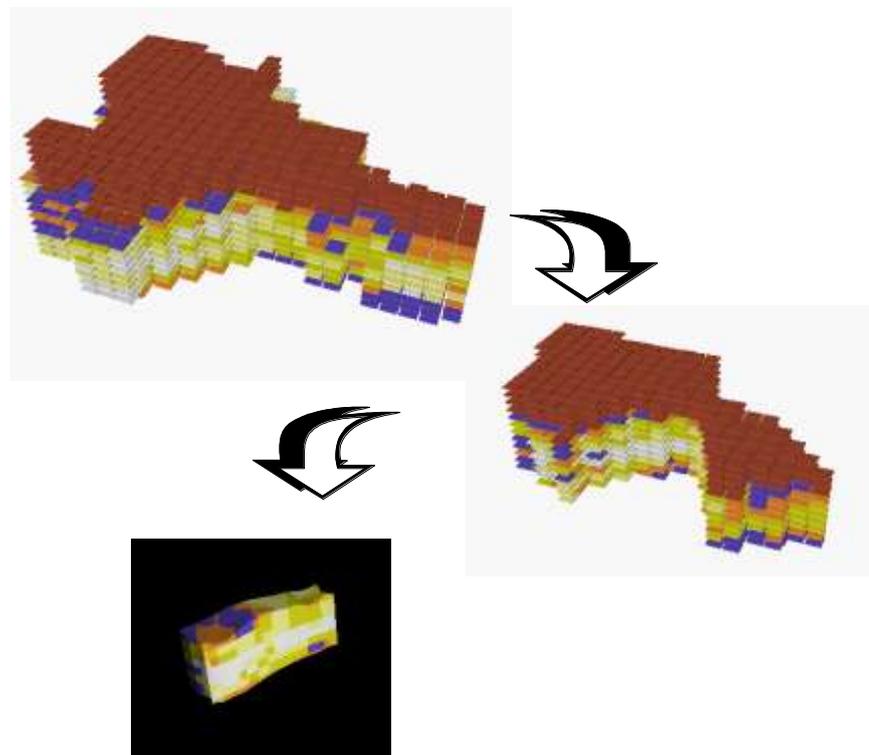


figura 5.4 - Restrições sucessivas no modelo de blocos estimado <sup>(1)</sup>.

## 5.2. RESERVAS RECUPERÁVEIS E ANÁLISE COMPARATIVA DA DIMENSÃO DE BLOCOS

Segundo a mesma metodologia foram gerados modelos para diferentes dimensões de blocos. Para cada modelo criado, foram estudadas a influência da dimensão de blocos sobre a curva tonelagem x qualidade e conseqüentemente o impacto que a escolha da dimensão de blocos acarreta sobre o modelamento tridimensional para esse tipo de jazimento.

(1) Todas as Figuras estão representadas aqui, para uma melhor visualização, com um exagero vertical de três vezes em função da expressão das dimensões no plano horizontal em relação à dimensão vertical.

Segundo Hulse, 1992, a experiência prática e gráficos baseados na variação da dimensão de blocos observando o comportamento da variância de krigagem ( $\sigma_k^2$ ) para avaliação da disposição das amostras no espaço, indicam que dimensões de blocos não devem exceder 1/3 a 1/4 do espaçamento amostral. Sendo importante a observação dos parâmetros do variograma para cada caso na tomada de decisão. Isto significa dizer que somente quando houver um grande alcance do variograma (*range*) em determinada direção as amostras distantes entre si no espaço estarão localizadas na parte inferior da curva de variografia (baixa variabilidade). Ou que para pequenos ranges é injustificável a utilização de blocos de dimensões reduzidas.

Partindo-se do conhecimento da malha amostral, dos parâmetros de ajuste do variograma (*range*, variância dos dados, *nugget*) e da altura de bancada sugerida para a prática de lavra, as dimensões de bloco adotadas e comparadas foram as seguintes:

- Modelos de blocos 50 x 50 x 5 m

Dimensão de blocos na horizontal igual ao espaçamento amostral predominante no plano XY e dimensão vertical igual a metade da altura de bancada sugerida.

- Modelos de blocos 25 x 25 x 1 m

Dimensão de blocos na horizontal igual à metade do espaçamento amostral predominante no plano XY e dimensão vertical igual a décima parte da altura de bancada sugerida.

### 5.3. MODELO PARA A JAZIDA

Modelo para a jazida foi considerado um modelo englobando toda a área amostrada, limitado por superfícies digitalizadas e triangularizadas a partir da interpretação de seções verticais executadas ao longo dos furos de sondagem na direção N 79.3° E.

A figura 5.5 mostra as superfícies delimitadoras dos modelos. A superfície azul identifica o modelo digital correspondente ao topo da Tipologia A e a superfície verde corresponde ao topo da Tipologia B. O modelo para o TIPO A foi gerado entre as superfícies de topo das camadas A e B, e o modelo para o TIPO B foi restrito ao topo e base do TIPO B.

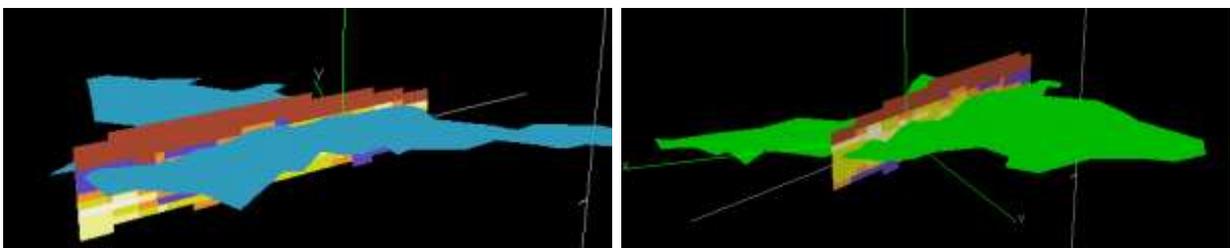
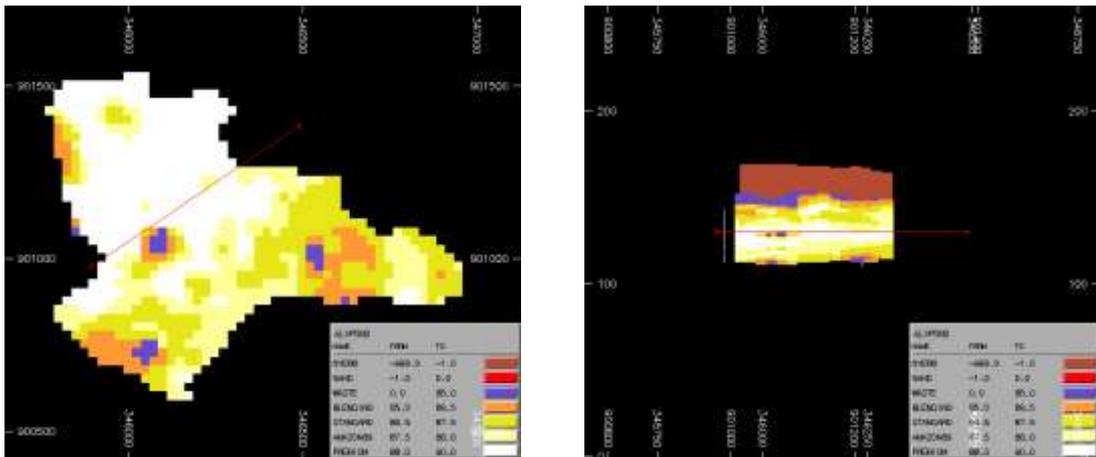
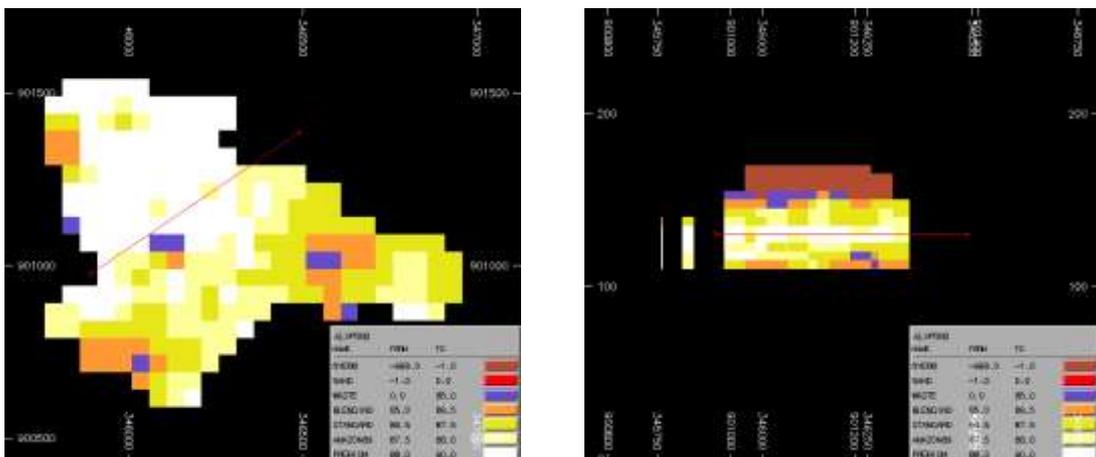


figura 5.5 - Superfícies delimitadoras do modelo total para a jazida.

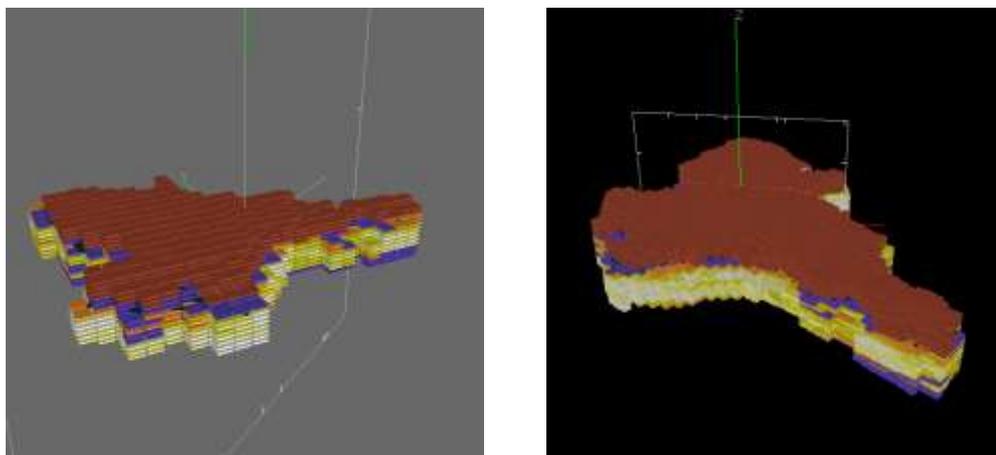
Os mapas apresentados nas Figuras 5.6 e 5.7, mostram os blocos gerados para os modelos de diferentes dimensões para a cota 130 na vista em planta, ao passo que o perfil identifica uma seção vertical ao longo da linha vermelha na direção N 55 E. A figura 5.6 apresenta o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m e a figura 5.7 mostra o modelo de 50 x 50 x 5 m. Na figura 5.8 podem ser visualizados os modelos de blocos gerados para cada uma das dimensões estudadas.



*figura 5.6 - Planta e perfil do modelo para a jazida estimada com blocos de 25 x 25 x 1 m.*



*figura 5.7 - Planta e perfil do modelo para a jazida estimada com blocos de 50 x 50 x 5 m.*



*figura 5.8 - Vista tridimensional dos modelos para as duas dimensões estudadas.*

A figura 5.9 mostra um gráfico comparativo entre as duas dimensões de bloco estudadas. São estimadas as tonelagens presentes na jazida anteriores ao início das operações de lavra na jazida do Felipe II, representando uma curva de reservas recuperáveis para a jazida total, associada a faixas de qualidade de minério. A figura 5.10 apresenta o mesmo quadro de recuperação de reservas, expresso em termos percentuais.

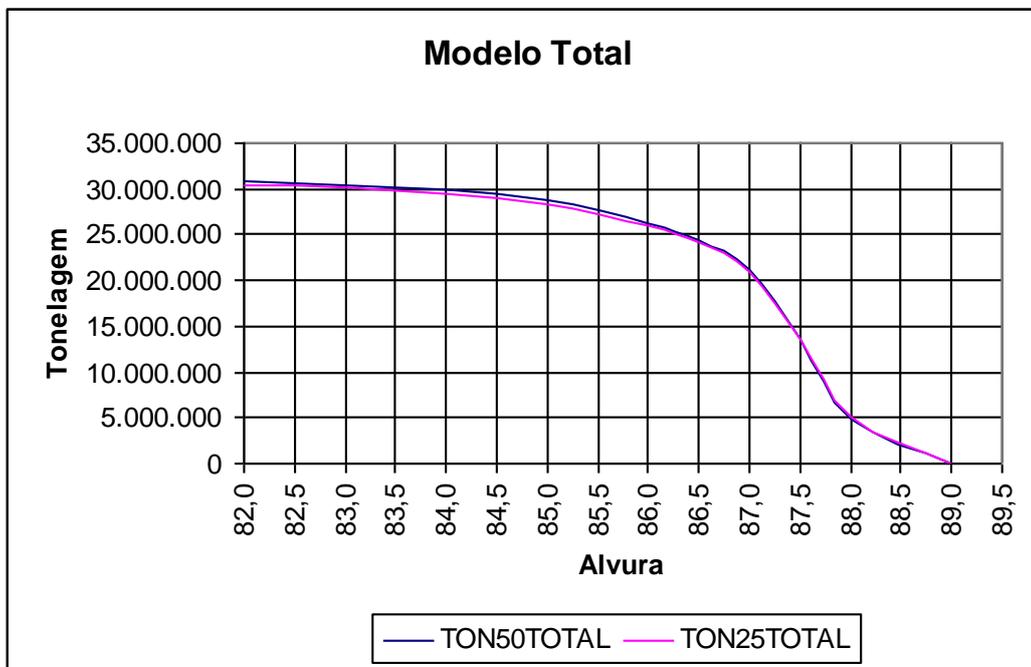


figura 5.9 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material (Alvura) para a jazida total, comparando as duas dimensões de blocos.

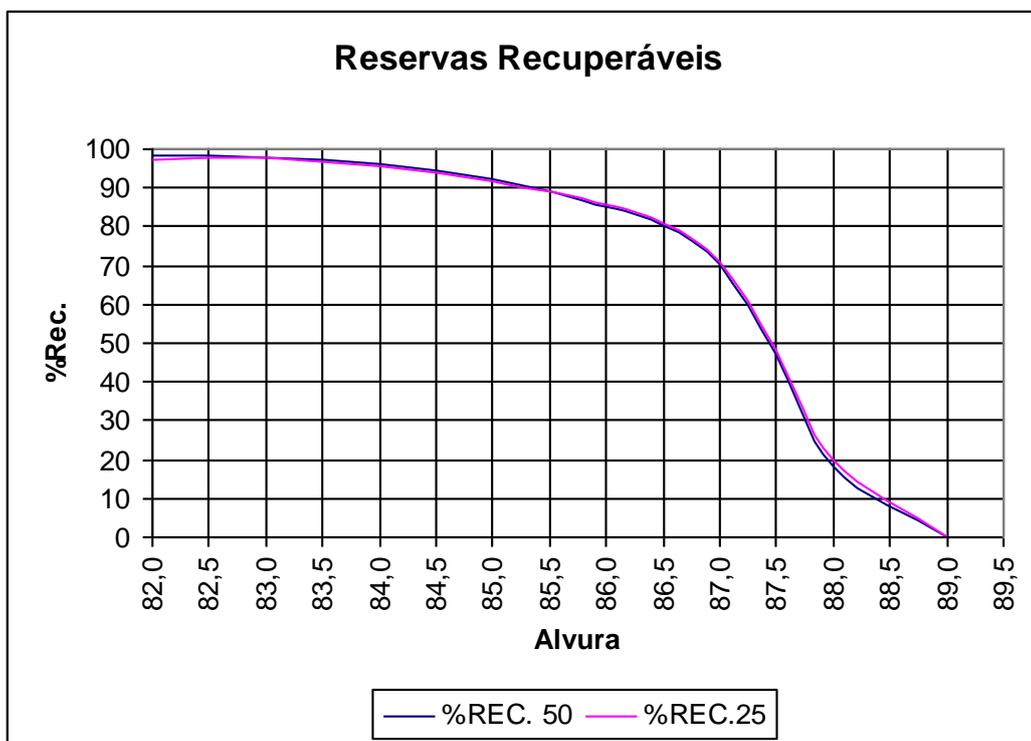


figura 5.10 - Gráfico Percentagem de reservas x Qualidade do material (Alvura) para a jazida total, comparando as duas dimensões de blocos.

A figura 5.11 apresenta as curvas de Teor Médio Recuperável para variações no Teor de Corte da Jazida. Ou seja, estabelecendo-se um teor de corte no eixo das abcissas, tem-se como resposta no eixo das ordenadas o teor (alvura) médio das reservas acima do corte estabelecido.

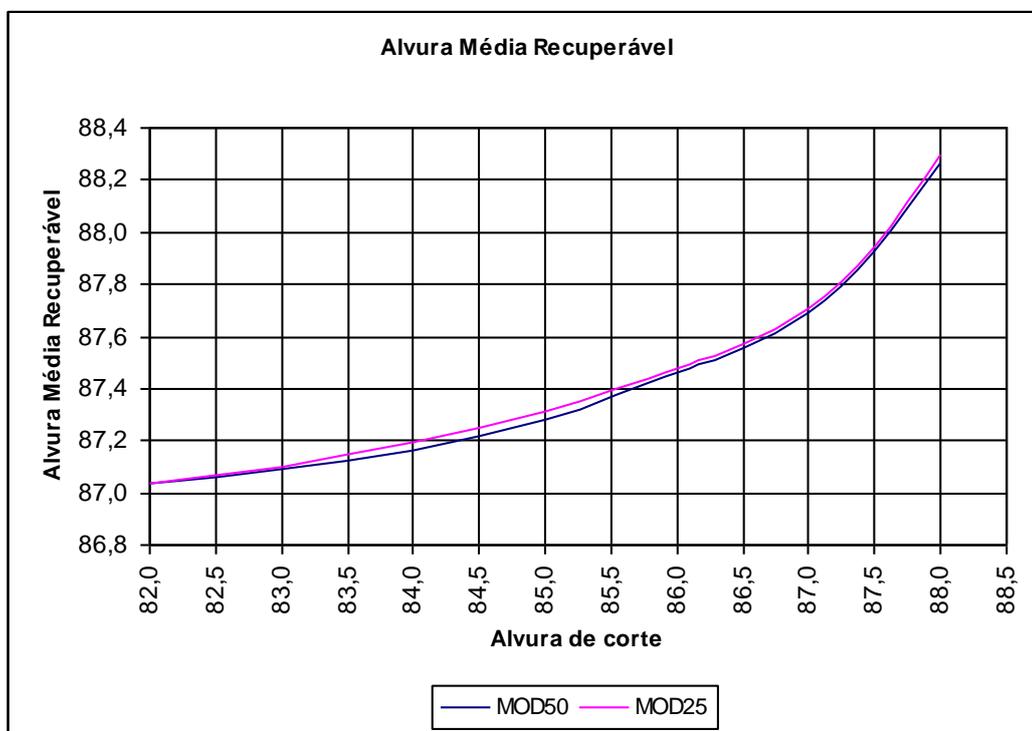


figura 5.11 - Gráfico Alvura de corte x Alvura média recuperável.

A Tabela 5.1 apresenta as tonelagens para cada um dos teores de corte para o modelo total. Os teores de corte estão relacionados a F(R) e ao respectivo valor de alvura correspondente. Pode-se observar nessa tabela a significância das diferenças entre as curvas de tonelagem, para cada uma das dimensões estudadas, na 5ª coluna da Tabela 5.1. Essas diferenças são atribuídas à seletividade produzida por cada um dos modelos utilizados. Ou seja, blocos de maiores dimensões acabam por diluir materiais de boa qualidade dentro de materiais de baixa qualidade.

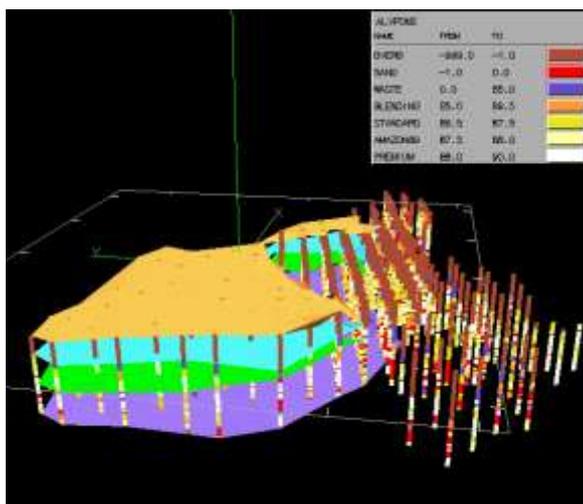
Tabela 5.1 - Tabela<sup>(1)</sup> de tonelagens e recuperação da jazida para diferentes teores de corte.

CutoffALV	CutoffFR	TON50TOTAL	TON25TOTAL	TON50 - TON25	%REC. 50	%REC.25
82,0	19,75610	30.784.177,85	30.424.289,48	359.888,37	98,56	97,40
83,0	17,40964	30.456.738,98	30.066.946,61	389.792,37	97,57	97,65
84,0	15,23810	29.937.080,01	29.421.267,36	515.812,65	95,90	95,67
85,0	13,23529	28.803.743,37	28.284.833,60	518.909,76	92,27	91,87
86,0	11,39535	26.266.062,56	26.122.093,66	143.968,91	85,32	85,86
86,5	10,53468	24.385.167,86	24.261.296,48	123.871,38	80,06	80,69
87,0	9,71264	21.101.780,66	20.929.274,86	172.505,79	70,49	71,14
87,5	8,92857	13.544.863,58	13.690.769,99	-145.906,41	47,02	48,40
88,0	8,18182	4.740.126,64	5.106.185,83	-366.059,19	18,05	19,55
89,0	6,79775	0,00	22.203,77	-22.203,77	0,00	0,09

(1) Legenda - CutoffALV - Alvura de corte, CutoffFR - F(R) de corte, TON50TOTAL - tonel. acima do corte estabelecido para o modelo de 50 x 50 x 5 m, TON25TOTAL - tonel. acima do corte estabelecido para o modelo de 25 x 25 x 1 m, TON50-TON25 - diferença de tonelagem entre os modelos, %REC.50 - recup. para o modelo de 50 x 50 x 5 m, %REC.25 - recup. para o modelo 25 x 25 x 1 m

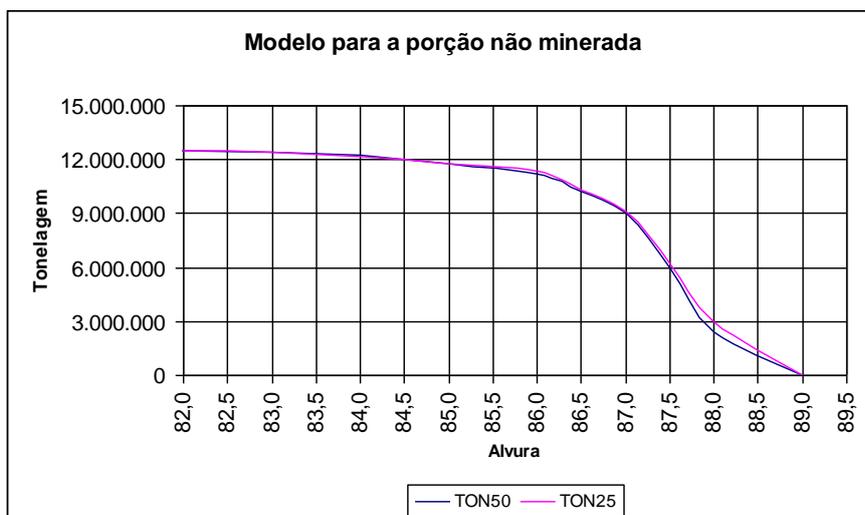
**5.4. MODELO PARA A PORÇÃO NÃO MINERADA**

A partir do modelo krigado, da mesma maneira que para o modelo para a jazida total, foi concebido um modelo para a porção não minerada do depósito, delimitando-se superfícies a partir dos furos de sondagem em seções verticais paralelas, porém desta feita abrangendo somente a zonas amostradas e não mineradas do corpo mineral. A figura 5.12 ilustra os pontos amostrais compreendidos dentro da zona modelada e as superfícies delimitadoras que geraram o modelo para a porção não minerada.



*figura 5.12 - Vista tridimensional dos dados de sondagem e superfícies delimitadoras para geração do modelo para a porção não minerada da jazida.*

A figura 5.13 apresenta as curvas comparativas de tonelagem x qualidade do material, para cada um dos modelos gerados. Essa figura se refere às áreas não mineradas da jazida, apresentando uma quantificação de reservas de acordo com o intervalo de alvura.



*figura 5.13 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material (Alvura) para a porção não minerada da jazida, comparando-se as duas dimensões de blocos.*

A figura 5.14 apresenta os resultados de reservas recuperáveis para a porção não minerada da jazida em termos percentuais.

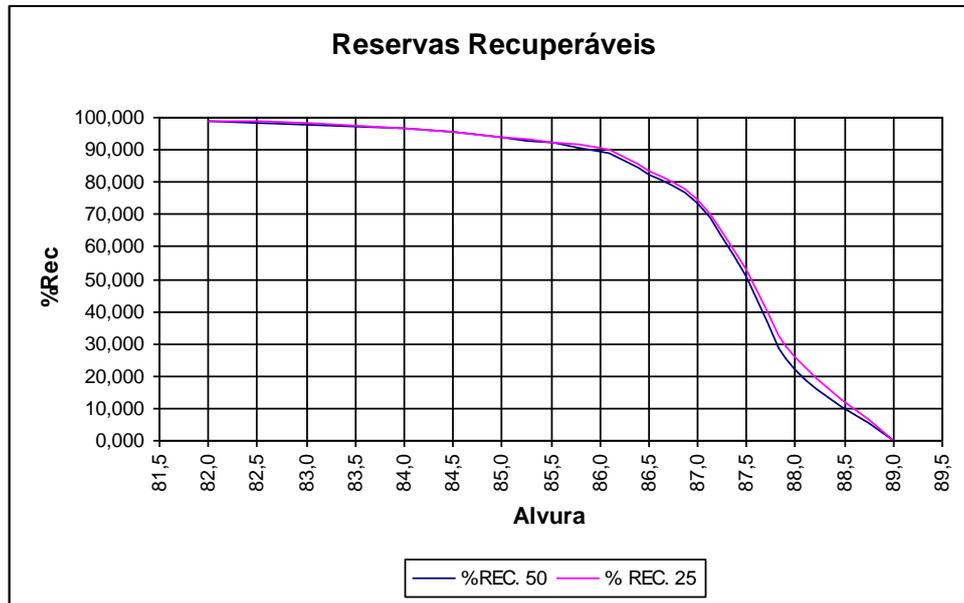


figura 5.14 - Gráfico Percentagem de reservas x Qualidade do material (Alvura) para a porção não minerada da jazida, comparando as duas dimensões de blocos.

A figura 5.15 apresenta as curvas de Teor Médio Recuperável para variações no Teor de Corte para as porção não minerada da jazida. O estabelecimento de uma alvura de corte possibilita o cálculo da alvura média das reservas recuperáveis acima do corte estabelecido.

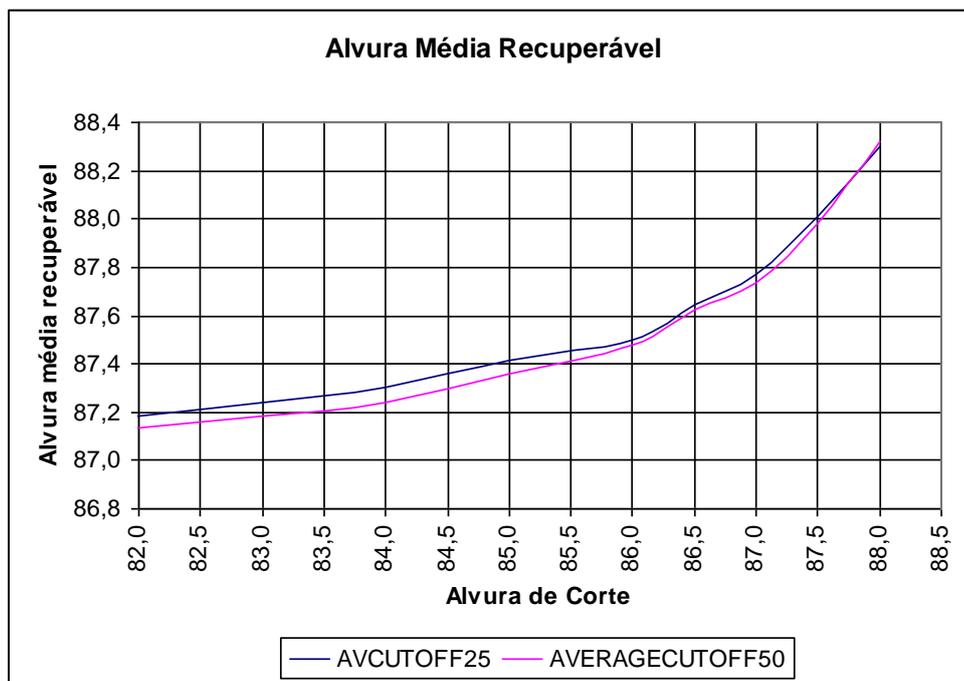


figura 5.15 - Gráfico Alvura de corte x Alvura média recuperável.

As figuras a seguir ilustram a intersecção da superfície de topo do TIPO A com os blocos dos modelos gerados dando uma possibilidade de visualização espacial da distribuição de teores na superfície do sedimento caulinítico e bancadas atuais de lavra (Julho de 1997).

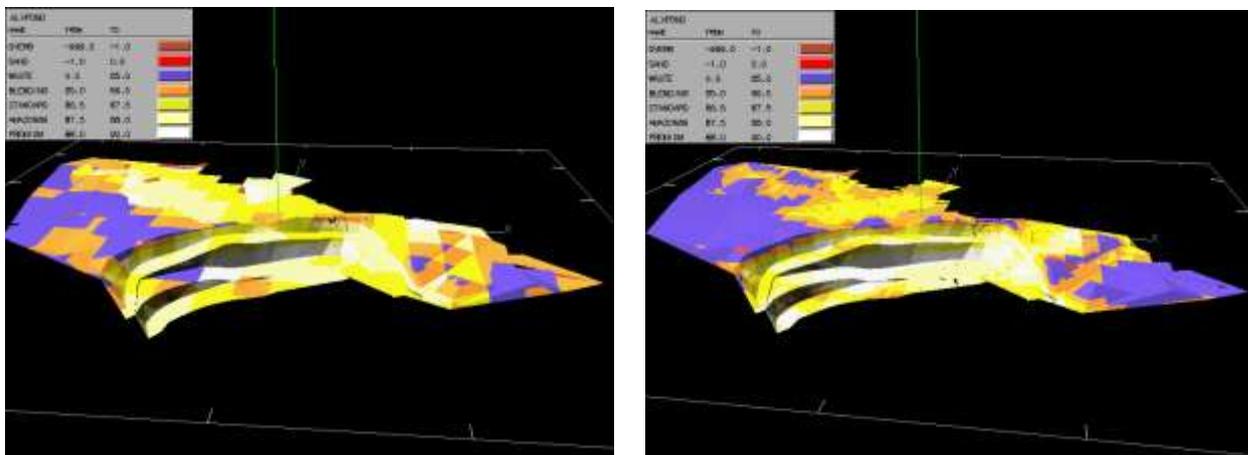


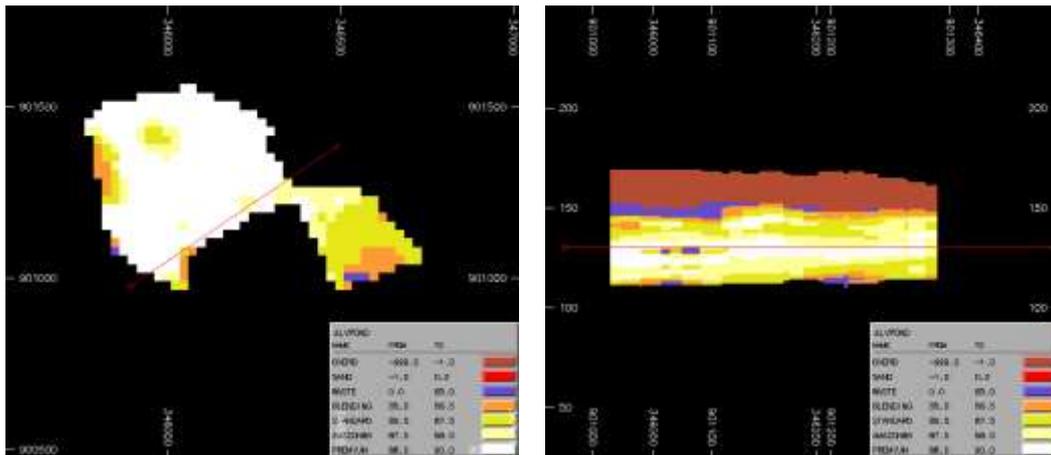
figura 5.16 - Vistas tridimensionais apresentando a intersecção dos blocos estimados com a superfície de topo do TIPO A para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A Tabela 5.2 apresenta as diferenças de tonelageamento a cada um dos teores de corte estabelecidos. Nessa tabela pode ser observado que as diferenças para os minérios de alta qualidade ficaram ainda mais evidentes para o modelo de menores dimensões (25 x 25 x 1). Essa vantagem para o modelo de 25 x 25 x 1 pode ser explicada novamente pela melhor discretização produzida por um modelo de menores dimensões, onde podem ser observados aumentos de recuperação 1 a 4% nos minérios de alta alvura (a partir de 86.5). Esse aumento significativo de recuperação indica *a priori* a presença de minérios de boa qualidade na porção não minerada da jazida.

Tabela 5.2 - Tabela de tonelagens e recup. da porção não minerada da jazida para diferentes teores de corte.

CutoffALV	CutoffFR	TON50	TON25	TON50-TON25	%REC. 50	% REC. 25
82,00	19,76	12.515.139,64	12.524.376,99	-9.237,36	98,63	98,99
83,00	17,41	12.415.104,79	12.404.092,53	11.012,26	97,96	98,11
84,00	15,24	12.251.315,55	12.214.395,41	36.920,14	96,95	96,68
85,00	13,24	11.783.592,04	11.808.048,31	-24.456,27	93,70	93,75
86,00	11,40	11.177.848,48	11.376.721,15	-198.872,67	89,31	90,84
86,50	10,53	10.207.464,32	10.358.072,93	-150.608,61	82,22	83,51
87,00	9,71	9.031.506,69	9.097.148,53	-65.641,83	73,72	74,48
87,50	8,93	5.965.686,43	6.240.327,05	-274.640,62	50,63	52,85
88,00	8,18	2.439.786,24	2.953.948,16	-514.161,92	21,83	25,96
89,00	6,80	0,00	13.057,43	-13.057,43	0,00	0,13

A figura 5.17 mostra um mapa e um perfil da distribuição espacial de blocos categorizados por faixa de alvura segundo a legenda constante nos mapas. O mapa em planta se refere à cota 130, onde pode ser observada uma grande continuidade de caulim de alta alvura, confirmando a existência de minério de alta qualidade nessa área da jazida.



*figura 5.17 - Planta e perfil da porção não minerada da jazida para blocos estimados na dimensão de 25 x 25 x 1 m.*

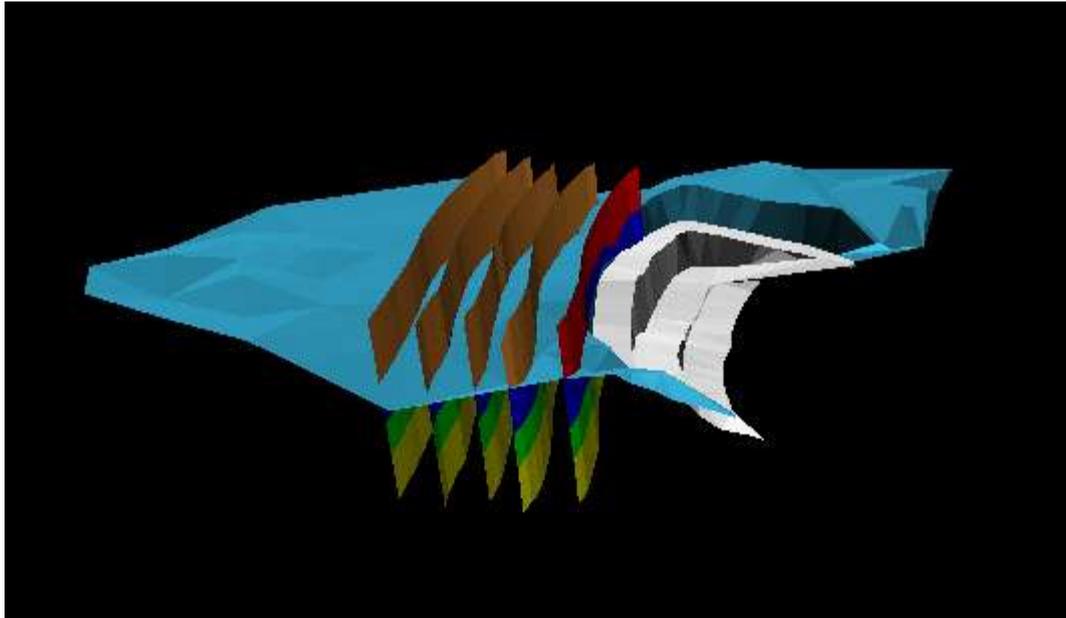
### 5.5. MODELOS PARA OS PAINÉIS E BANCADAS

A exemplo dos modelos apresentados anteriormente, foram utilizados novamente superfícies delimitadoras para restrição dos blocos do modelo total. Foram projetados painéis e bancadas de lavra com o intuito de fornecer uma ferramenta para o planejamento a médio e longo prazo da jazida, onde em cada bancada são fornecidos os teores estimados associados a blocos de lavra.

Os painéis foram discretizados em blocos. Chama-se de painel um volume de material que abrange desde a cobertura até a base do sedimento determinada aqui pela superfície de base da Tipologia B. Inseridas dentro de um painel de lavra estão 4 bancadas (figura 5.18). A bancadas foram construídas da seguinte maneira:

A bancada superior corresponde à cobertura, ou seja, contém o material entre a superfície topográfica e o topo da Tipologia A (superfície azul na figura 5.18).

A bancada 1 (minério) foi construída partindo-se da superfície da Tipologia A, onde foi projetada a crista da bancada a um ângulo de  $70^{\circ}$  com a horizontal, a uma distância vertical de 10m, configurando a bancada de minério superior de um painel de lavra. A segunda bancada foi construída por projeção do pé da bancada 1 a um ângulo de  $70^{\circ}$  novamente a uma distância vertical de 10m e a terceira e última bancada de cada painel foi gerada pela projeção do pé da segunda bancada à superfície de base da Tipologia B. Portanto as bancadas de lavra foram padronizadas em aproximadamente 10m de altura por 40 m de largura e ao longo do comprimento atravessando todo o modelo gerado de acordo com a figura 5.18.

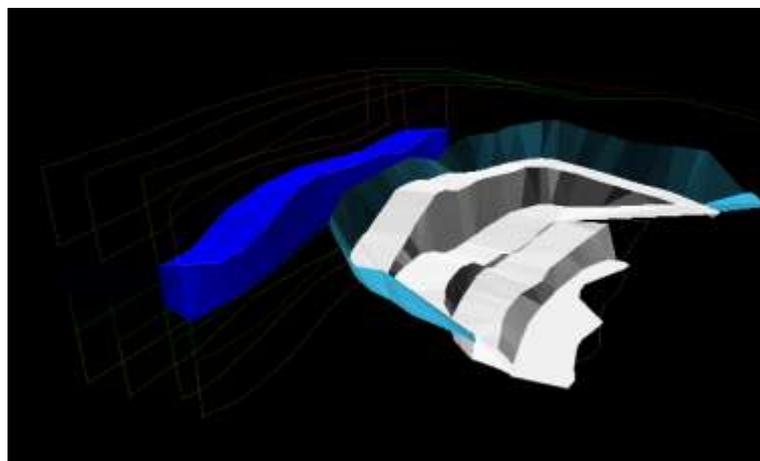


*figura 5.18 - Wireframes gerados para representar os painéis e bancadas projetadas para o avanço da lavra.*

A figura 5.18 mostra, acima da superfície azul claro (superfície de topo do TIPO A), as porções relativas à cobertura estão representadas pela cor marrom. Logo abaixo da superfície de topo do TIPO A estão as bancadas 1, 2 e 3 representadas em azul escuro, verde e amarelo respectivamente. Os modelos para os painéis foram gerados a partir da segunda superfície sub-verticalizada em diante, denominando o painel contido entre a segunda e terceira superfícies (da direita para a esquerda) de número 1.

### **5.5.1 PAINEL 1 - BANCADA 1**

Seguindo uma seqüência de apresentação das bancadas, a figura 5.19 mostra a posição espacial da bancada 1 do painel 1 (P1B1) em relação às bancadas atuais de lavra (Julho de 1997) e em relação aos outros painéis e bancadas de avanço projetadas.



*figura 5.19 - Posição espacial do painel 1 bancada 1 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.*

A figura 5.20 mostra a intersecção do wireframe que delimita a bancada 1 do painel 1 com cada um dos modelos de blocos gerados.

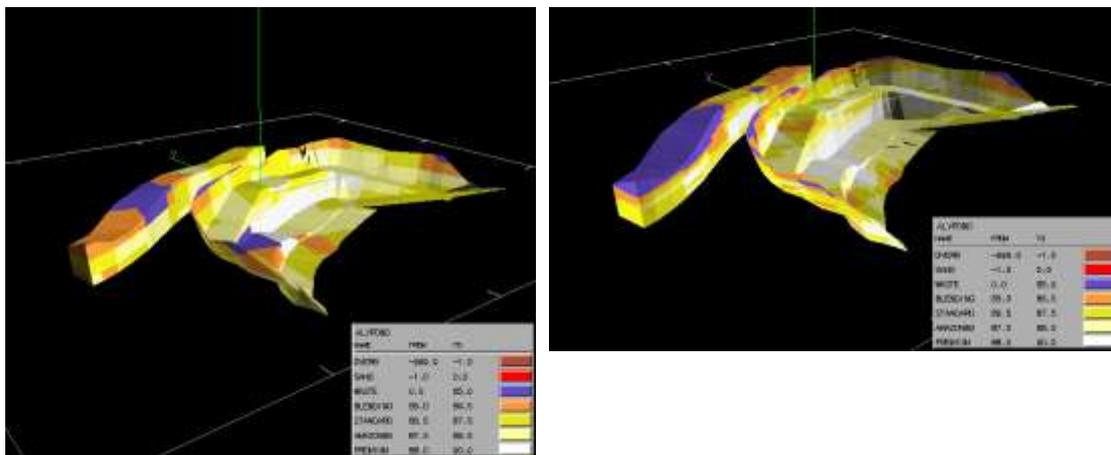


figura 5.20 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

Na figura 5.21 é apresentado o gráfico de tonelagens para o P1B1 onde as diferenças entre as duas dimensões de blocos estudadas podem ser claramente visualizadas. Da observação do gráfico pode ser verificada a baixa qualidade dessa bancada (tonelagem no cut-off 87.5), onde os dois modelos produziram curvas muito diferentes. Além disto pode ser observada uma diluição das altas alvuras para o modelo de 50 x 50 x 5 m que acabou por consumir dentro de seus blocos os minérios de alta alvura. Ao contrário, o modelo de menores

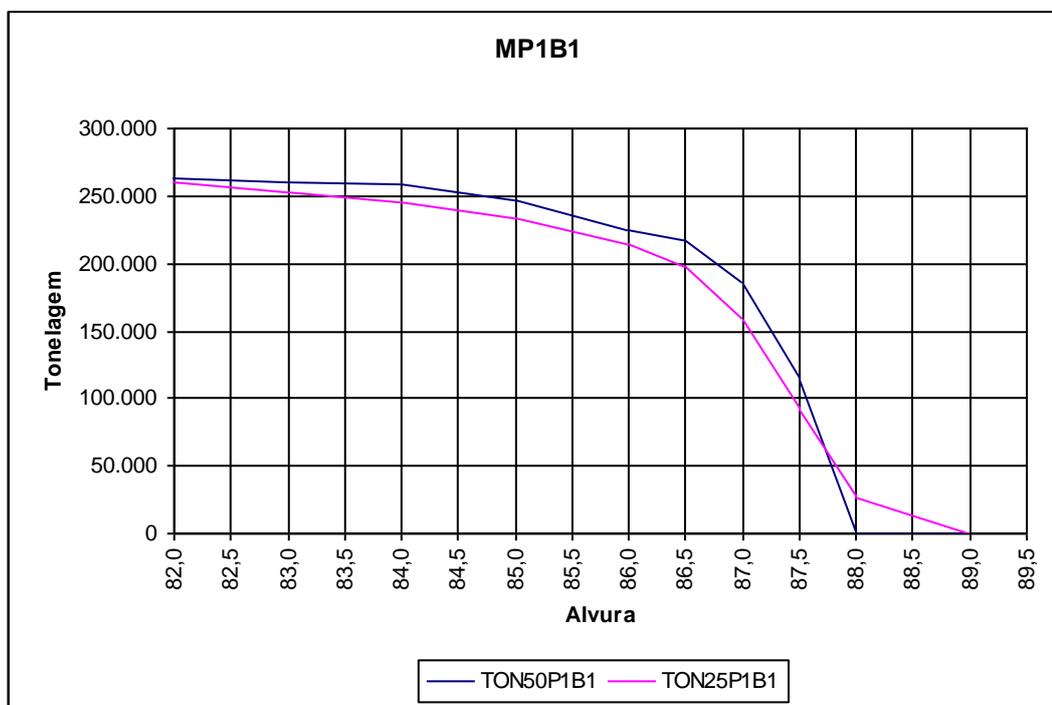


figura 5.21 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 1 bancada 1.

dimensões compensa as menores tonelagens em minério de baixa alvura, apresentando a existência de minérios de alta alvura.

A figura 5.22 apresenta as alvuras médias recuperáveis para o PIB1 a partir do estabelecimento de alvuras de corte.

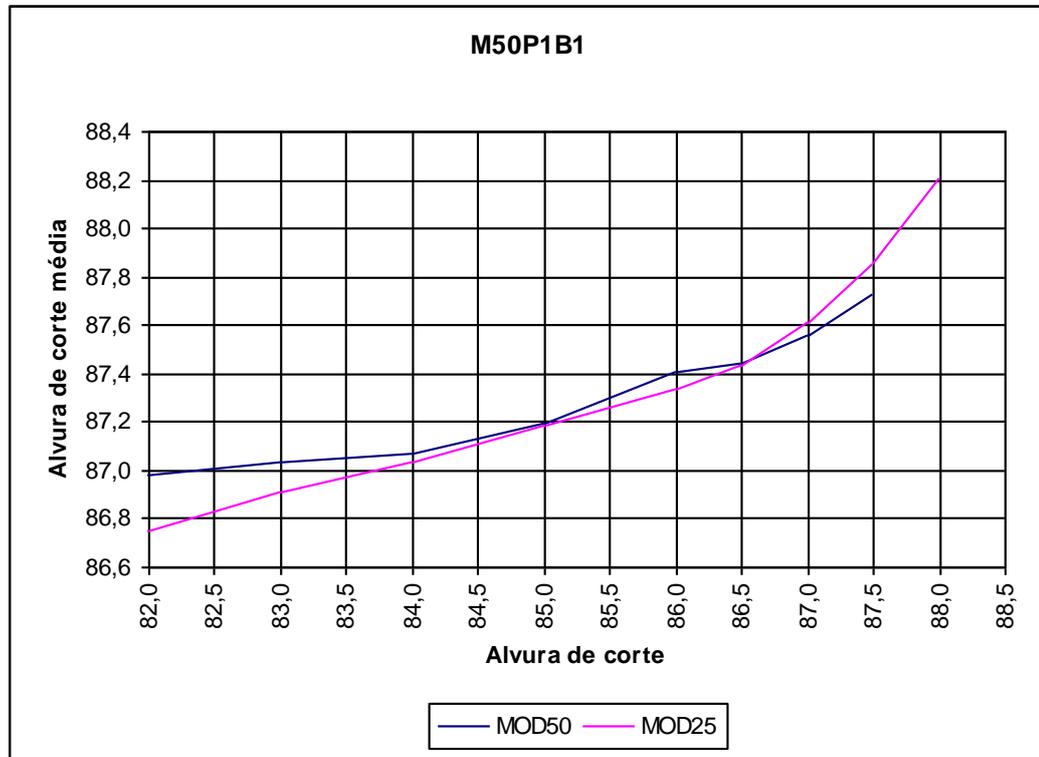


figura 5.22 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 1 bancada 1.

5.5.2 PAINEL 1 - BANCADA 2

A figura 5.23 mostra a posição espacial da bancada 2 do painel 1 em relação às bancadas atuais de lavra e em relação aos outros painéis e bancadas de avanço projetadas.

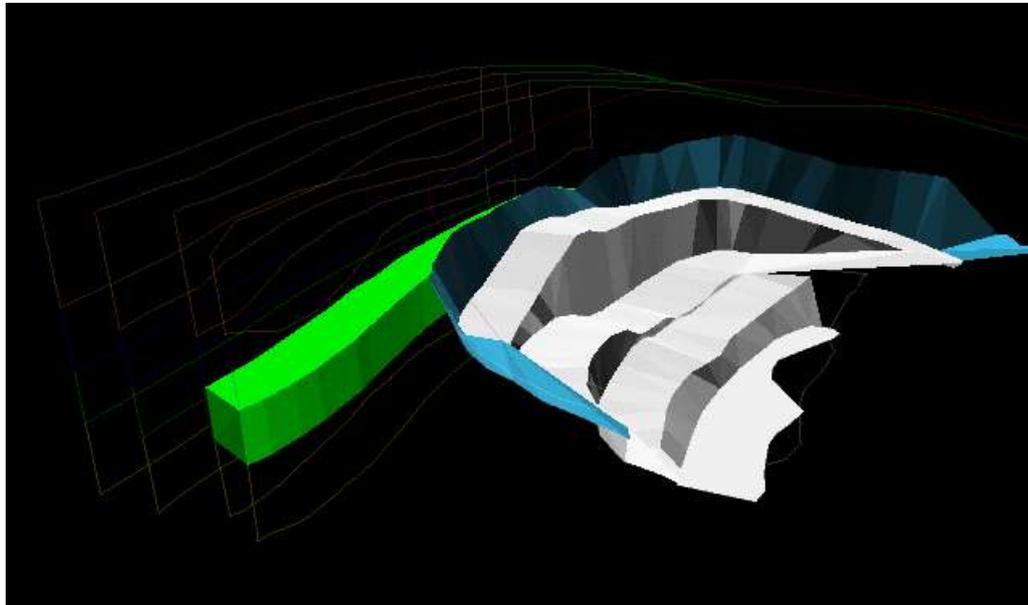


figura 5.23 - Posição espacial do painel 1 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

A figura 5.24 mostra a intersecção do wireframe que delimita a bancada 2 do painel 1 com os modelos de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m respectivamente.

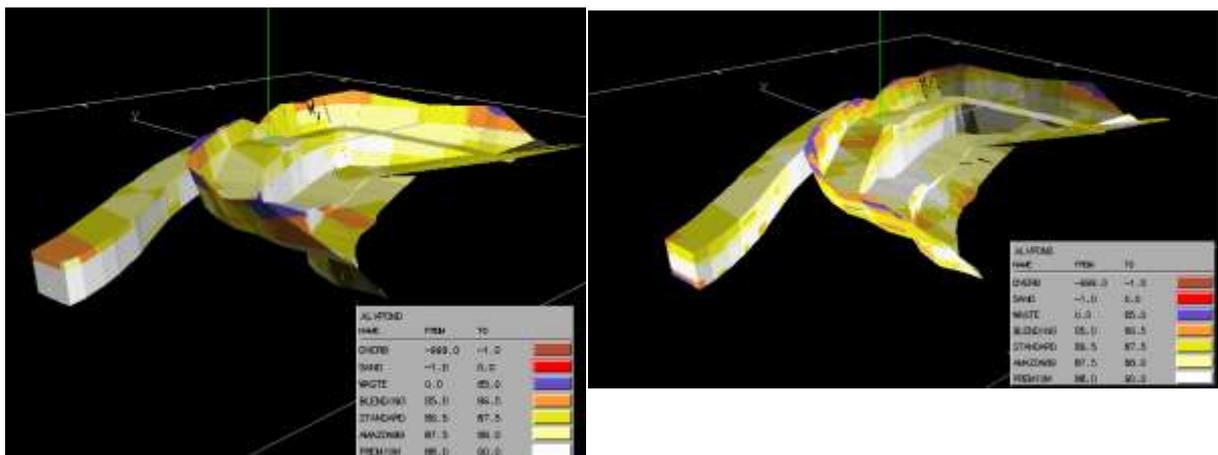


figura 5.24 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.25 mostra o gráfico de tonelagem x qualidade do material contido na bancada 2 do primeiro painel. Nesse gráfico pode ser observada a semelhança entre as curvas produzidas por cada uma das dimensões de bloco estudadas, o que verifica a homogeneidade do material presente nessa bancada. Essa bancada é de alta qualidade (tonelagem na alvura 87.5), por essa razão o modelo de maiores dimensões (50 x 50 x 5 m) produziu maiores tonelagens de caulim de alta alvura. Maiores tonelagens em caulim de alta alvura, para o modelo de maiores dimensões, pode ser explicada pela diluição do minério de baixa qualidade dentro das dimensões dos blocos.

A figura 5.26 apresenta o gráfico com a alvura média recuperável para a bancada 2 do painel 1. A observação da homogeneidade do minério presente nessa bancada pode ser confirmada com a figura 5.26 pela estreita faixa de ocorrência da alvura média (87.87 - 88.29).

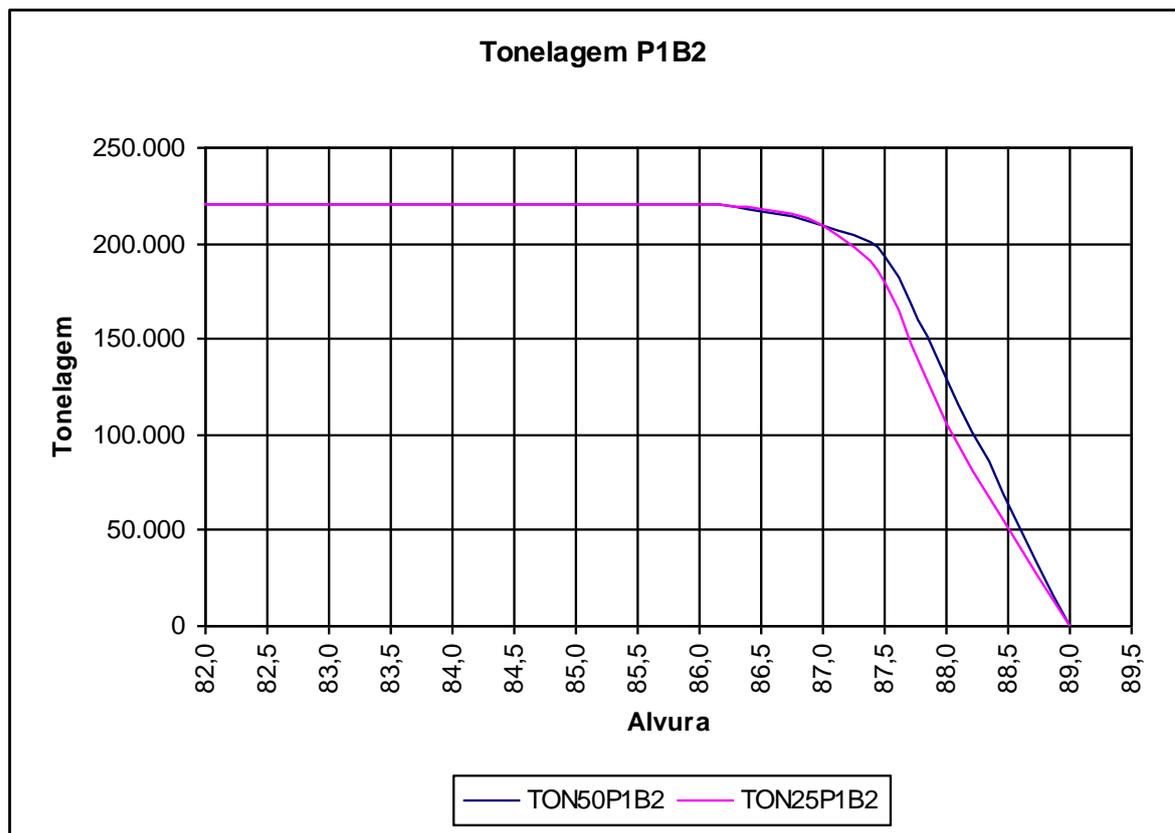


figura 5.25 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 1 bancada 2.

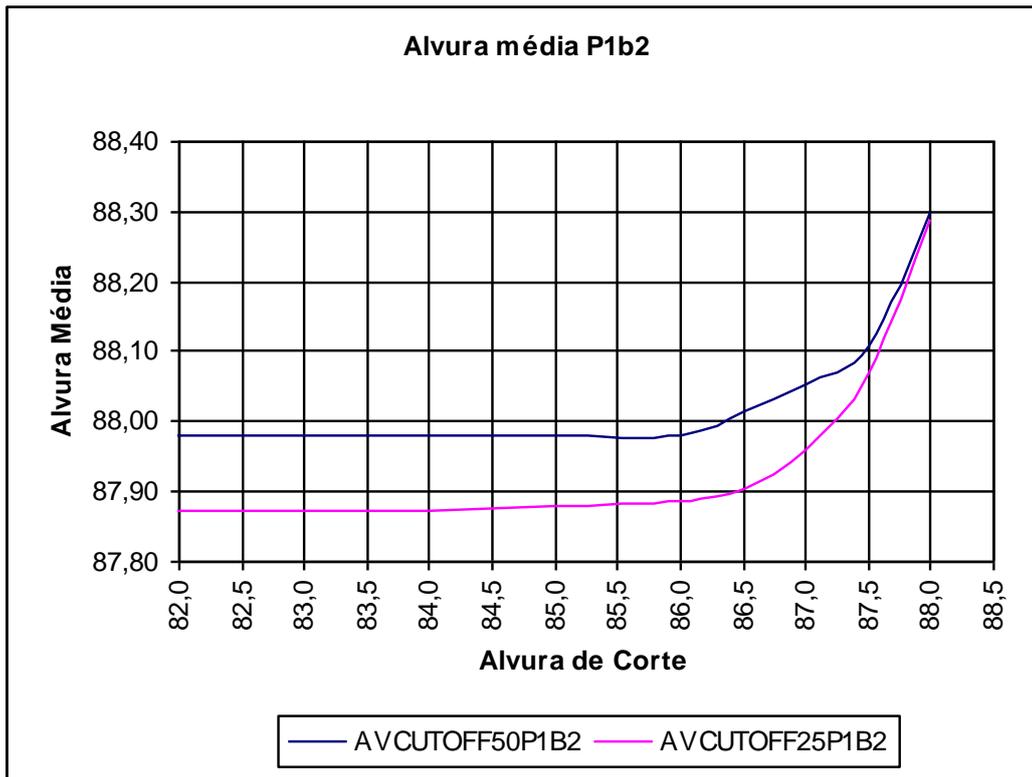


figura 5.26 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 1 bancada 2.

### 5.5.3 PAINEL 1 - BANCADA 3

A figura 5.27 mostra a bancada inferior do primeiro painel de lavra em vista tridimensional e sua posição espacial em relação às bancadas atuais de lavra (julho de 1997) e aos outros painéis e bancadas de avanço projetadas.

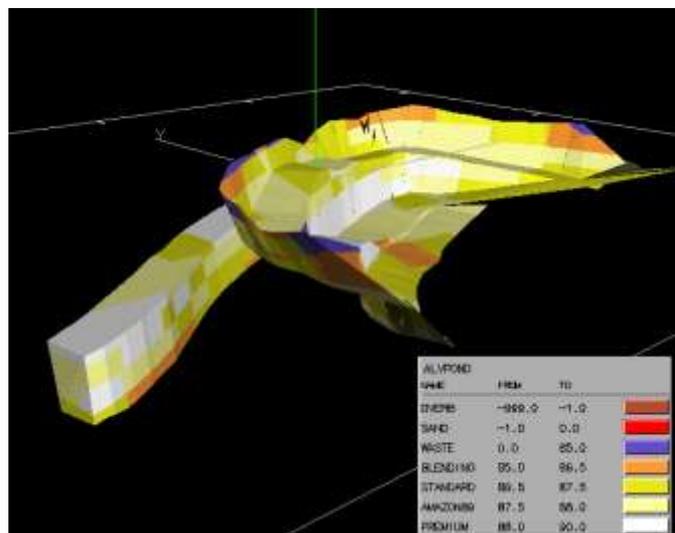


figura 5.27 - Posição espacial do painel 1 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

A figura 5.28 mostra a intersecção dos modelos com a superfície fechada que define a bancada 3 do painel 1. Pode ser observada nessa figura a existência de alguns blocos de boa qualidade no topo da bancada mas que com o aumento da profundidade desaparecem.

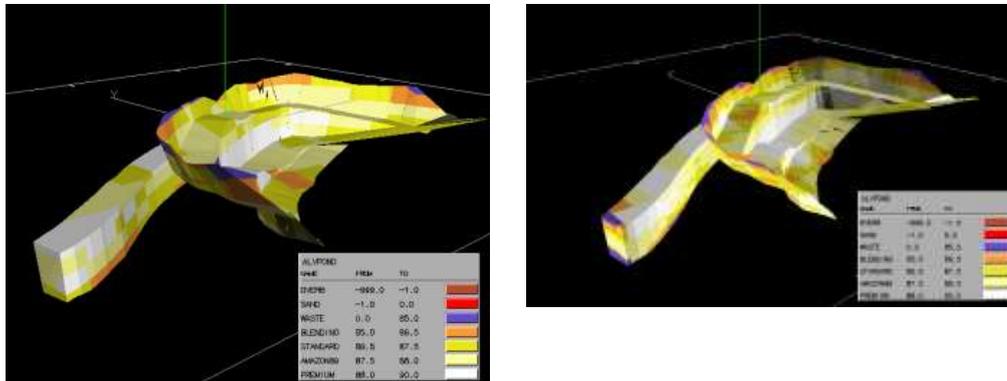


figura 5.28 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 1 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.29 mostra o quadro de tonelagens para a bancada 3 do painel 1. Nessa figura pode ser observada uma tonelagem de minério superior às exibidas nas bancadas anteriores, isto se deve à superfície que define as bancadas inferiores, que foram projetadas até a base do sedimento caulínítico. Essa bancada pode ser classificada como uma bancada razoável, apresentando em torno de 50% de minério de alta alvura (tonelagem de minério acima de 87.5)

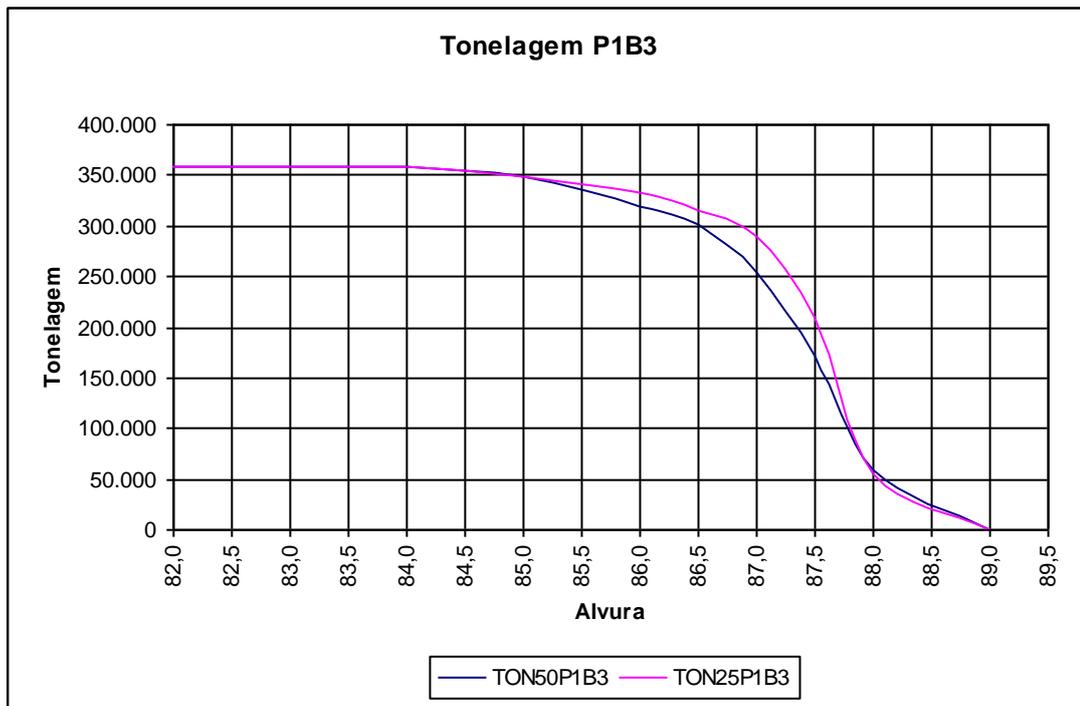


figura 5.29 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 1 bancada 3.

A figura 5.30 mostra o gráfico com as alvuras médias recuperáveis quando estabelecido uma alvura de corte dentro da bancada.

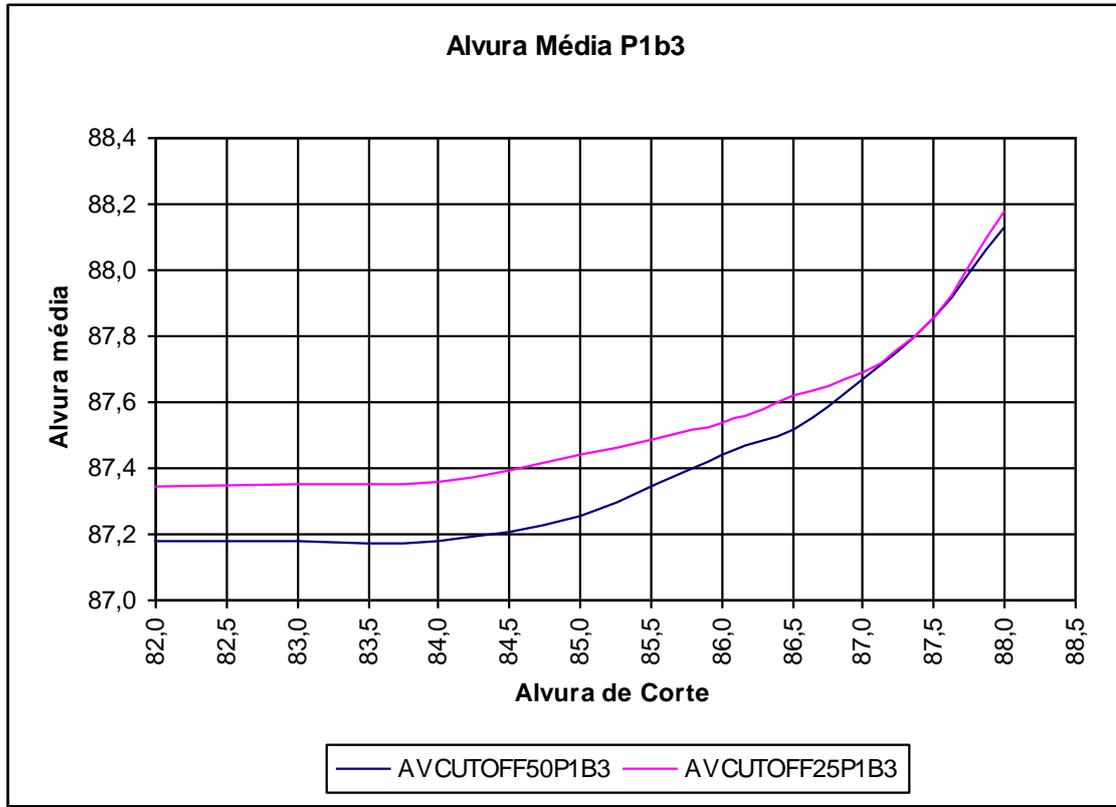


figura 5.30 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 1 bancada 3.

#### 5.5.4 PAINEL 2 - BANCADA 1

Na figura 5.31 pode ser visualizada a posição espacial da bancada 1 do segundo painel em relação às bancadas de operação e às outras bancadas e painéis de avanço projetados.

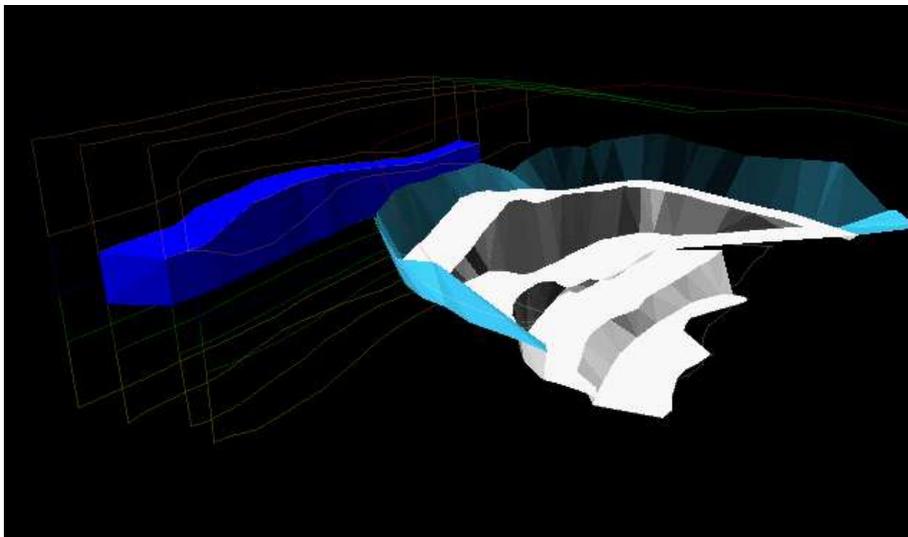


figura 5.31 - Posição espacial do painel 2 bancada 1 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

A figura 5.32 mostra a qualidade dos blocos na intersecção da bancada 1 do segundo painel com os modelos estudados.

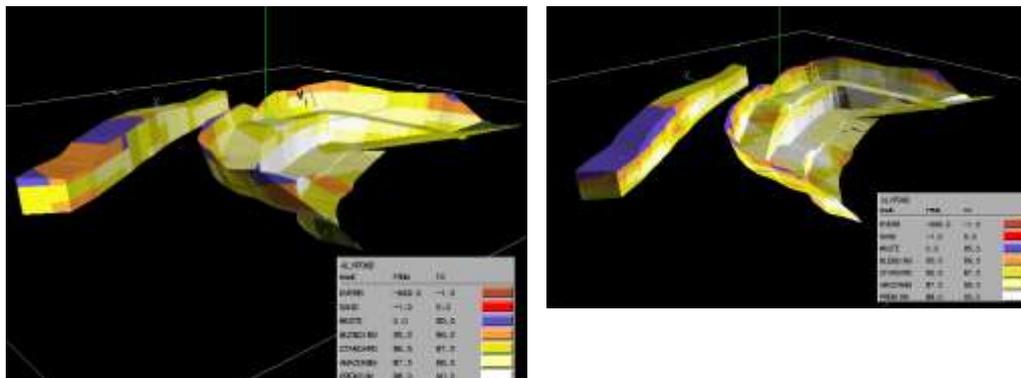


figura 5.32 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

O gráfico de tonelagens para a bancada 1 do segundo painel, exibido pela figura 5.33, nos permite verificar a baixa qualidade dessa bancada (tonelagem de minério acima de 87.5). Novamente pode ser verificada maiores tonelagens no minério de baixa qualidade para o modelo de maiores dimensões (50 x 50 x 5), confirmando a anexação do minério de alta alvura dentro de blocos predominantes de baixa alvura. O aparecimento de minério de alta alvura só foi possível em função da utilização de modelo de dimensões reduzidas, que consegue discretizar os minérios de alta e baixa alvura.

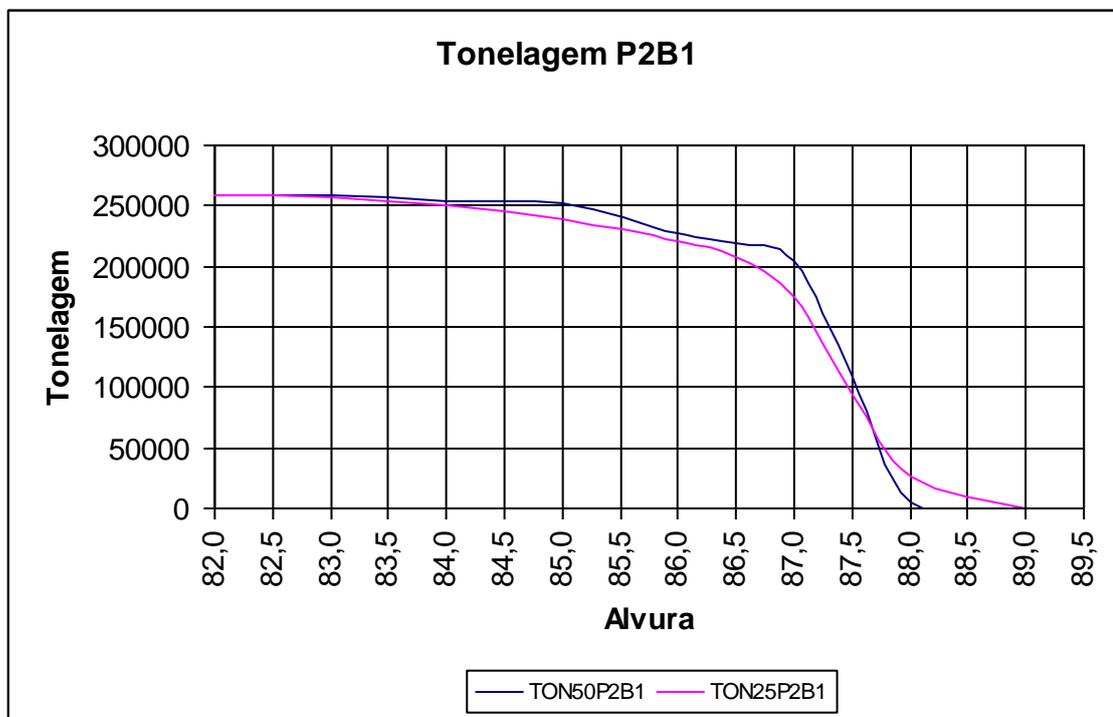


figura 5.33 -- Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 2 bancada 1.

A figura 5.34 apresenta a alvura média recuperável em função de cortes estabelecidos no minério extraído.

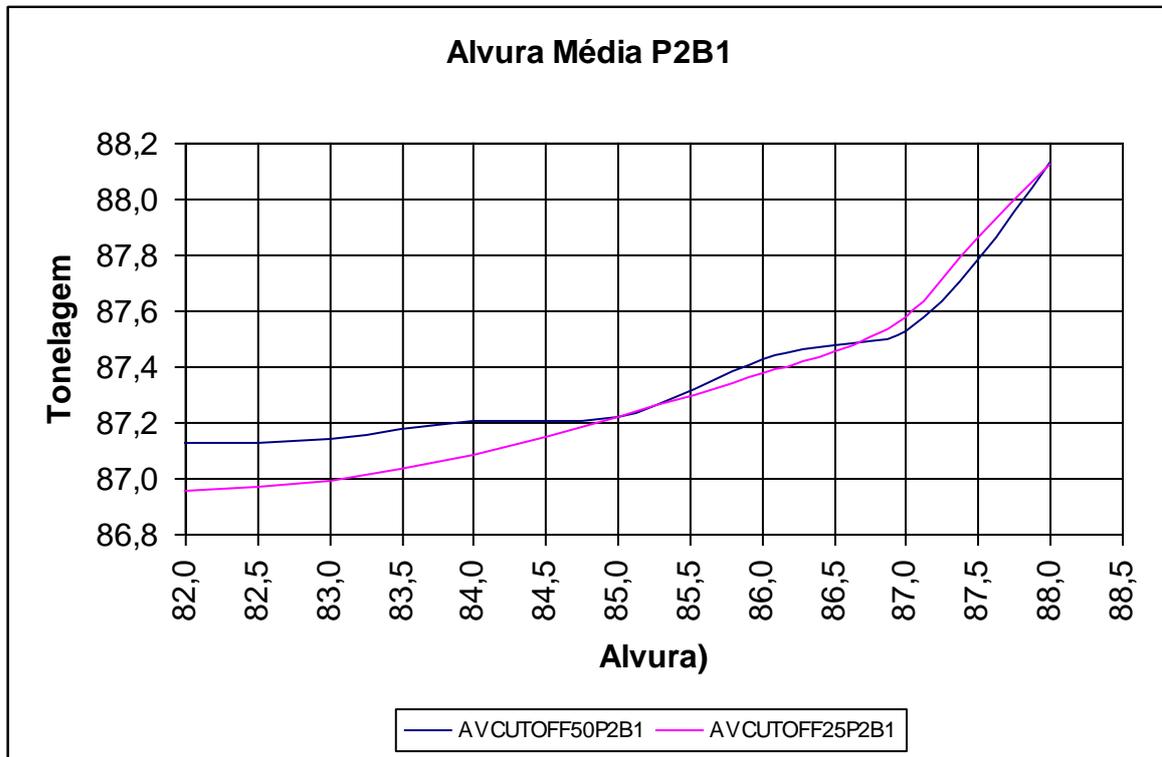


figura 5.34 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 2 bancada 1.

#### 5.5.5 PAINEL 2 - BANCADA 2

A figura 5.35 mostra a posição espacial da bancada de minério intermediária do segundo painel em relação às bancadas atuais de lavra (julho de 1997) e às outras bancadas e painéis projetados.

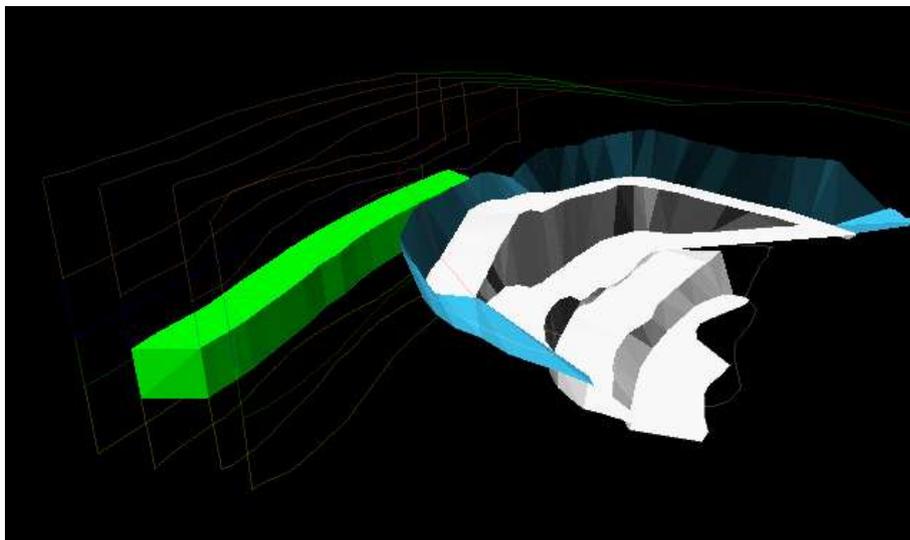


figura 5.35 - Posição espacial do painel 2 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

A figura 5.36 mostra a qualidade do material presente na segunda bancada do segundo painel. Na intersecção da superfície limite da bancada com os modelos de blocos pode ser observada a boa qualidade do minério contido nessa bancada. Esse resultado pode ser observado nos mapas tridimensionais para ambas as dimensões de bloco estudadas.

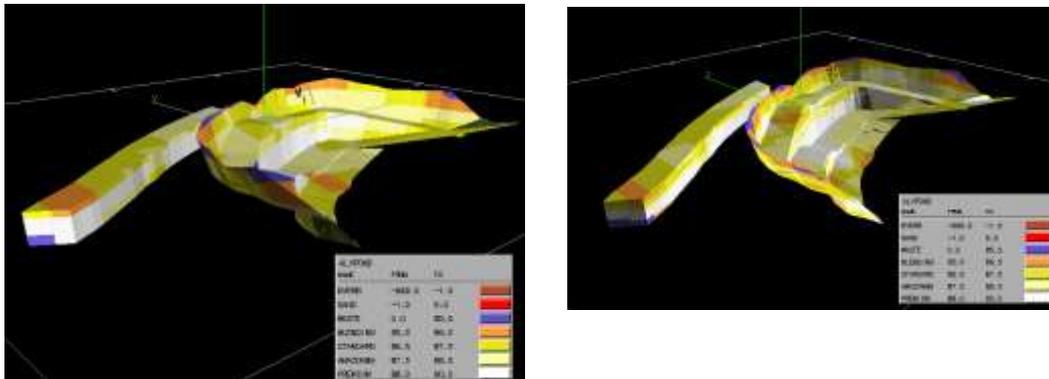


figura 5.36 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.37 apresenta as tonelagens de minério por intervalo de alvura contidas na bancada 2 do segundo painel. Nessa figura pode ser observada a qualidade excelente dessa bancada pela tonelagem de caulim com alvura acima de 87.5. Além disto pode ser verificada uma homogeneidade do material, pois os dois modelos estudados produziram curvas de tonelagem muito semelhantes para todos os intervalos de alvura de interesse.

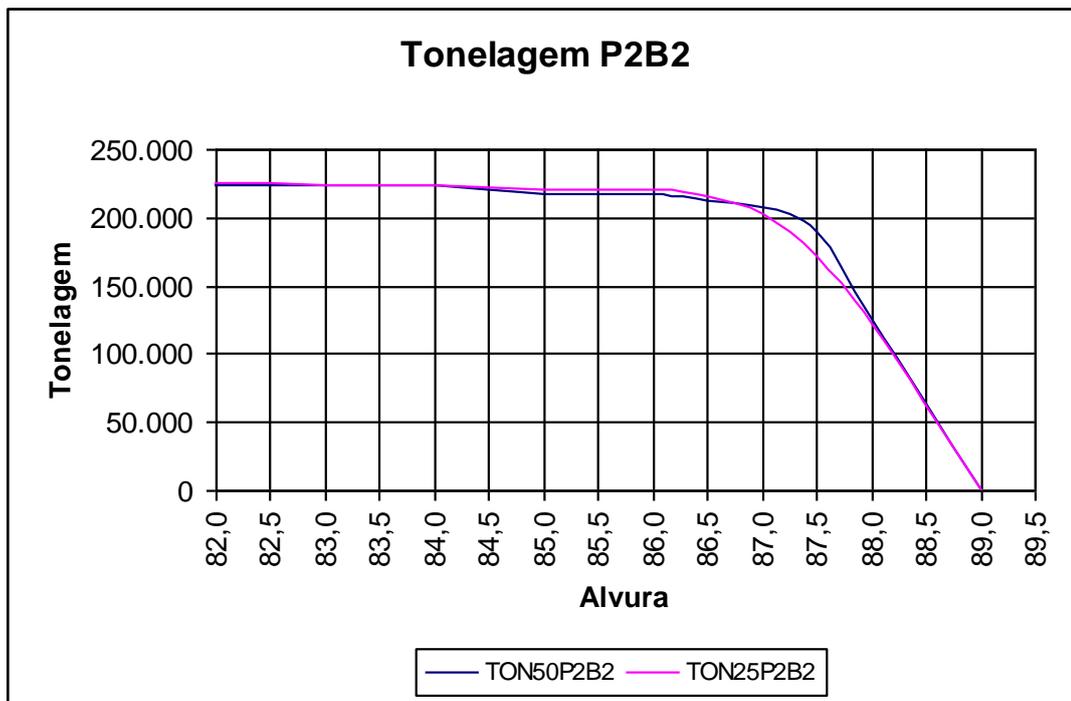


figura 5.37 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 2 bancada 2.

A figura 5.38 representa o gráfico de Cut off x Alvura média recuperável para a bancada 2 do segundo painel, confirmando a homogeneidade do material presente nessa bancada pelo estreito intervalo de ocorrência das alvuras médias.

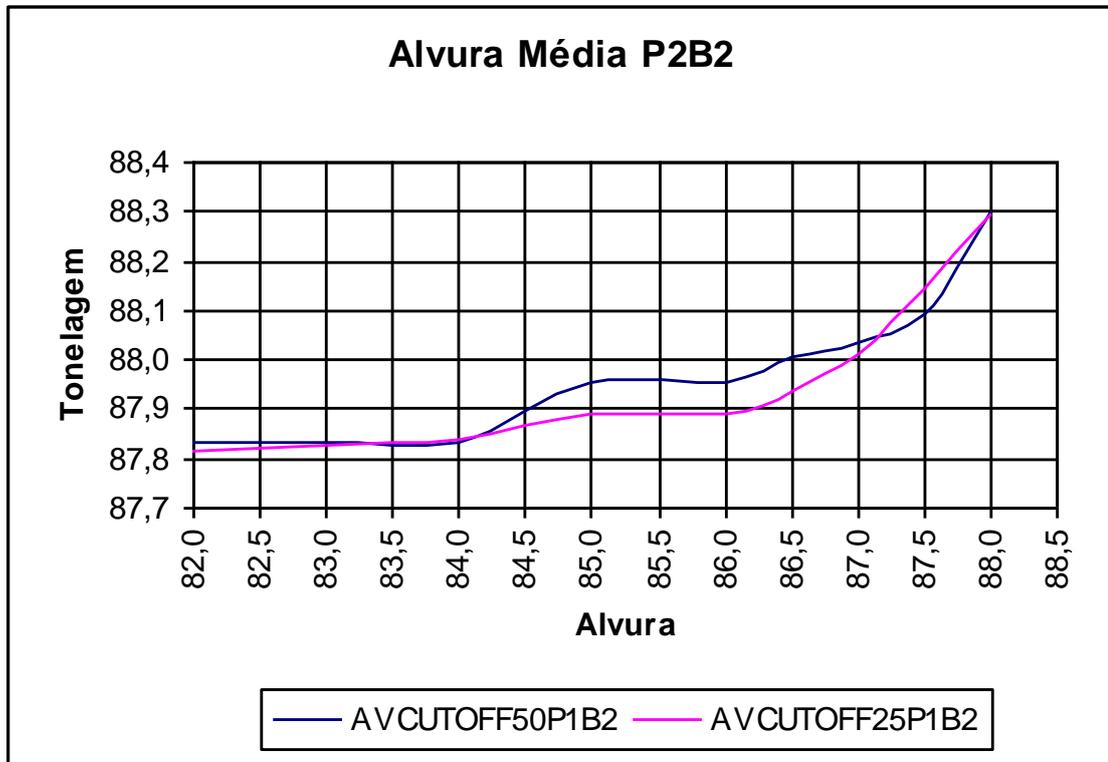


figura 5.38 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 2 bancada 2.

### 5.5.6 PAINEL 2 - BANCADA 3

A bancada inferior do segundo painel e sua posição relativa às bancadas atuais de operação (julho de 1997) e aos outros painéis e bancadas projetadas é mostrada na figura 5.39.

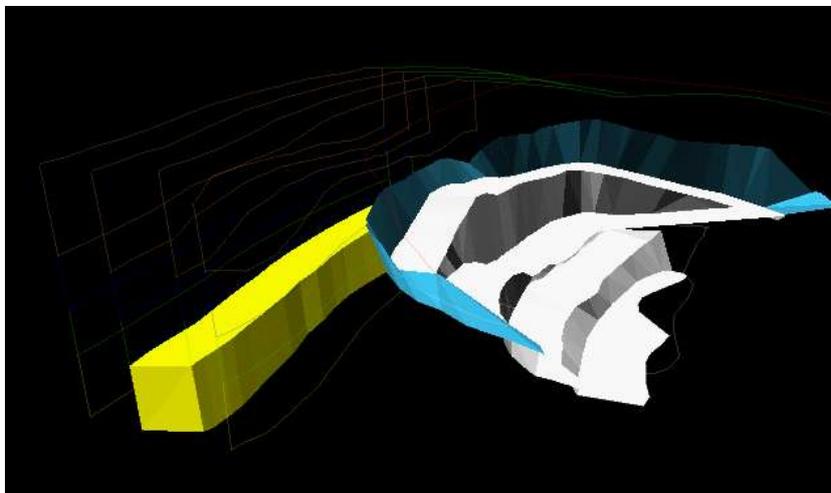


figura 5.39 - Posição espacial do painel 2 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

A figura 5.40 apresenta a intersecção da superfície que delimita a bancada inferior do segundo painel com os dois modelos de blocos gerados.

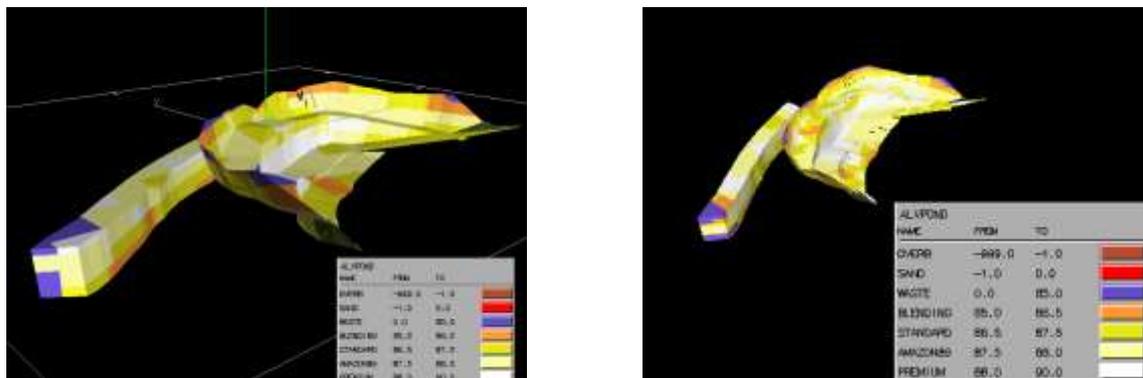


figura 5.40 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 2 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.41 mostra o gráfico de tonelagens para a bancada 2 do painel 3. Essa bancada pode ser classificada como regular do ponto de vista de qualidade do minério contido (tonelagem de caulim acima de 87.5 em relação à tonelagem total da bancada).

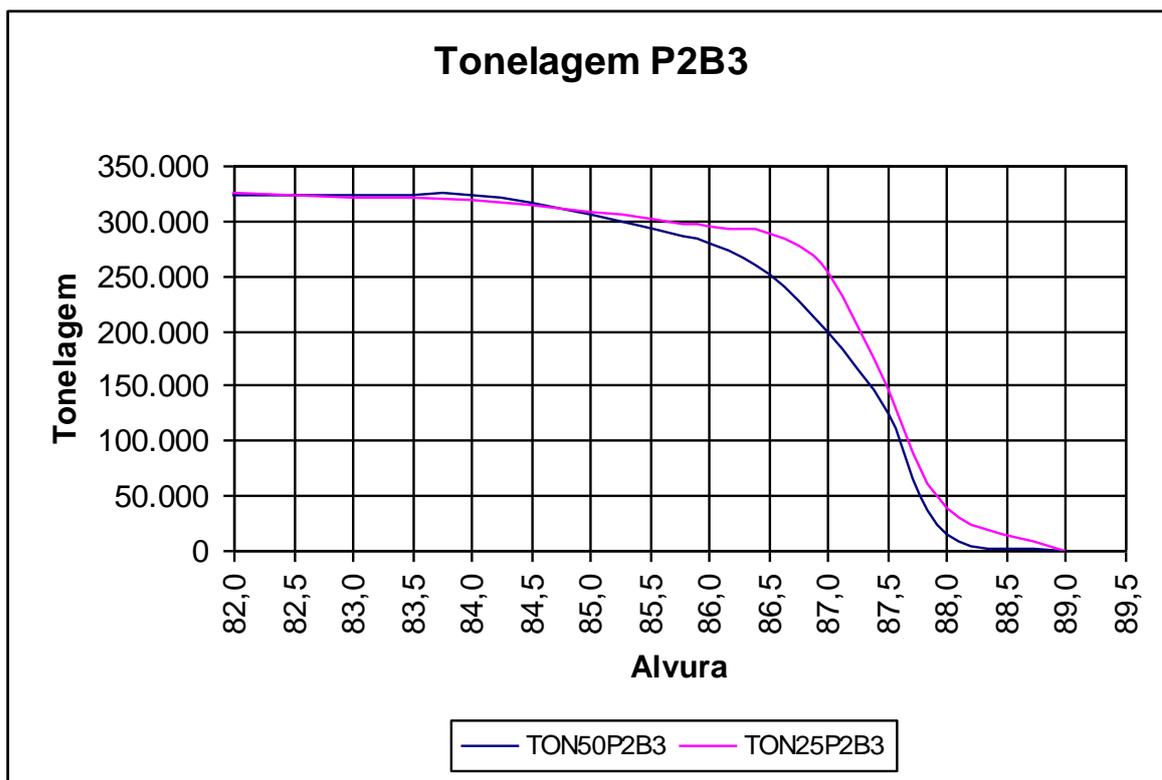


figura 5.41 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 2 bancada 3.

A figura 5.42 mostra as curvas de alvura média recuperável x alvura de corte para a bancada inferior do segundo painel de lavra projetado.

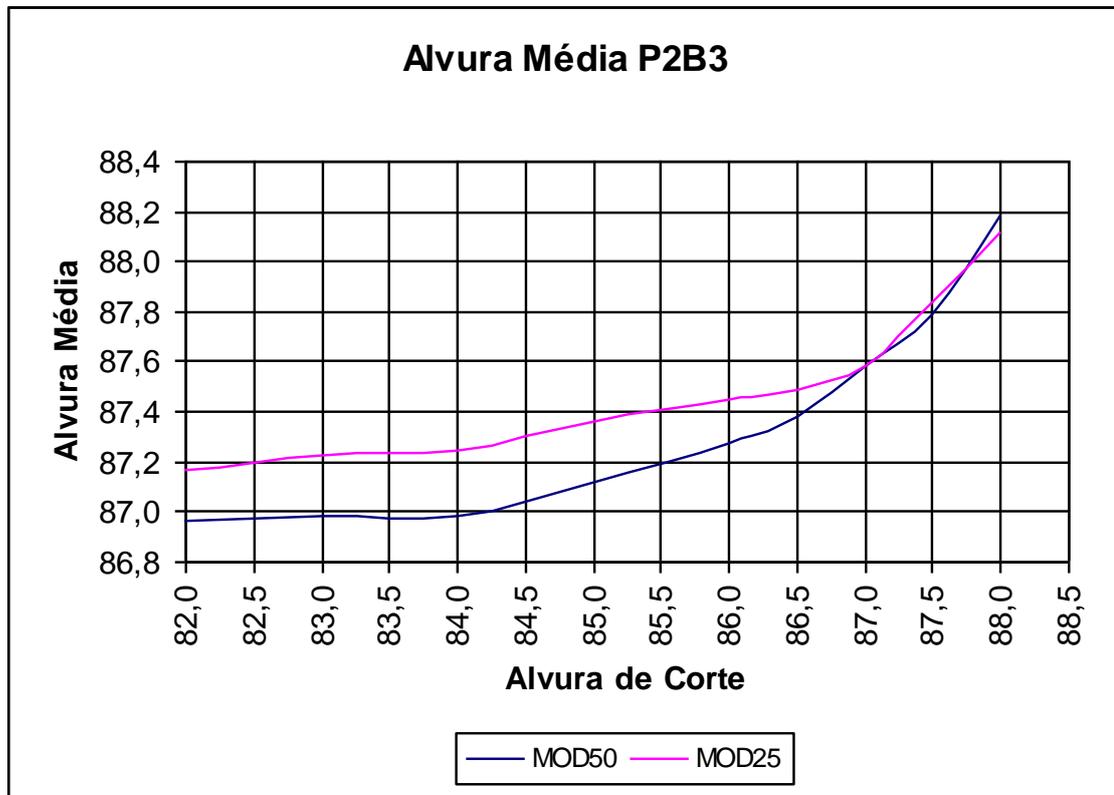


figura 5.42 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 2 bancada 3.

### 5.5.7 PAINEL 3 - BANCADA 1

Na figura 5.43 pode ser visualizada a posição espacial da bancada superior de minério para o terceiro painel. Nessa figura pode ser observado também a intersecção da superfície que define a bancada com os modelos de blocos estudados, exibindo a distribuição espacial da qualidade do minério contido nessa bancada.

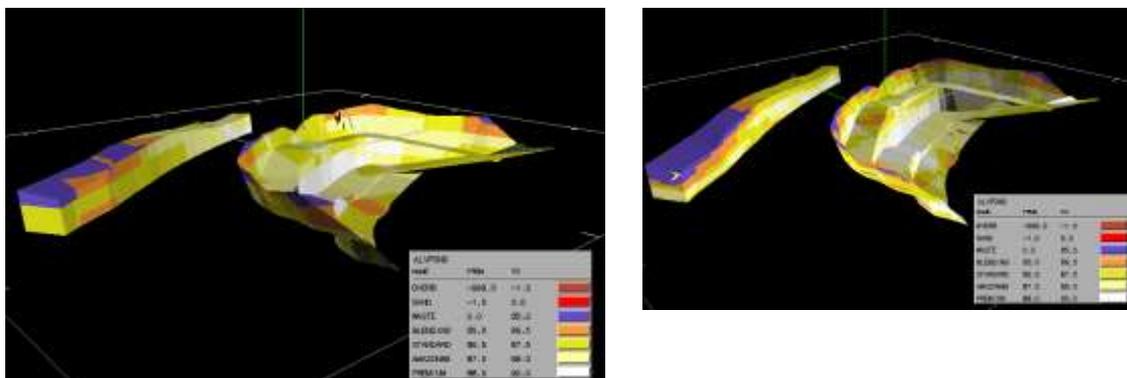


figura 5.43 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 1 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.44 mostra o gráfico de Tonelagem por faixa de alvura. Pelo gráfico pode-se classificar essa bancada como razoável (relação de tonelagem de minério acima de 87.5 com a tonelagem total da bancada). O aparecimento de minério de alta alvura se deve novamente ao modelo de blocos de menores dimensões, que conseguiu capturar a existência desses dentro de um universo de material predominantemente de baixa qualidade.

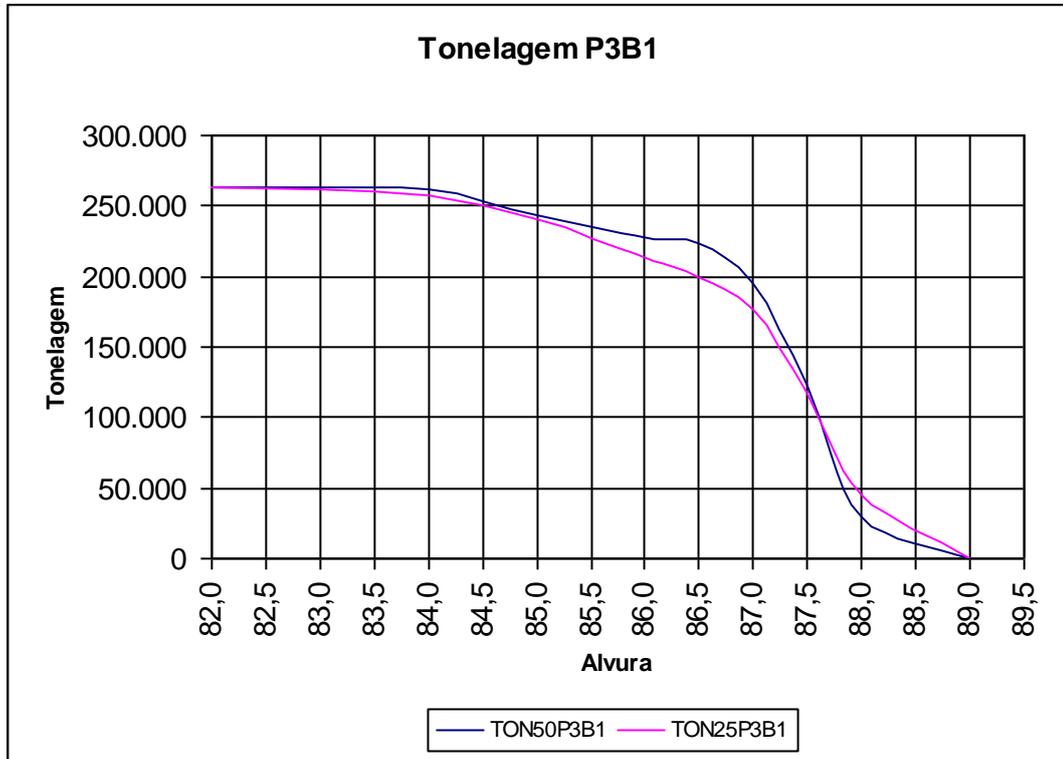


figura 5.44 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 3 bancada 1.

A figura 5.45 apresenta as curvas de alvura média recuperável para cada uma das dimensões de bloco estudadas.

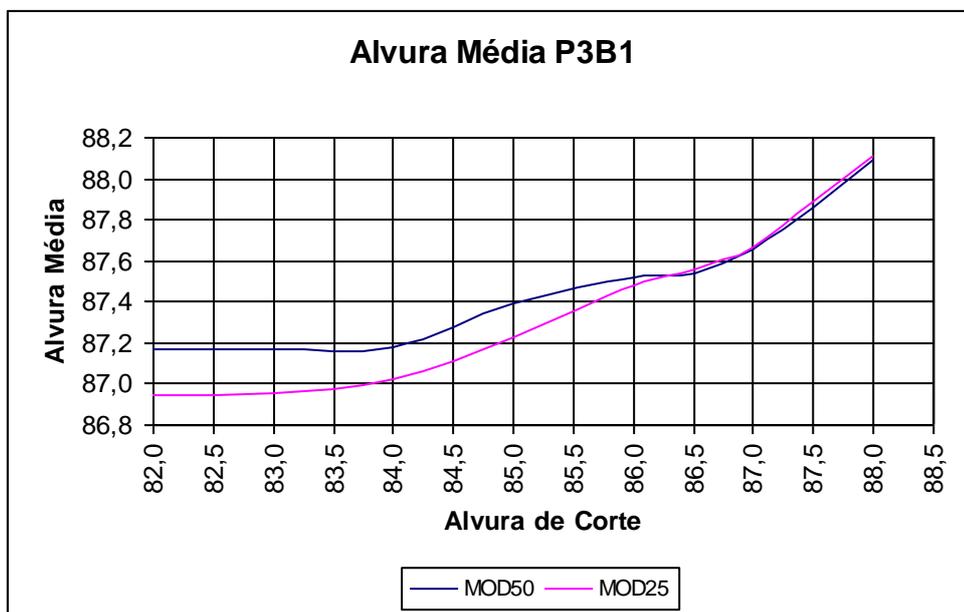


figura 5.45 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 3 bancada 1.

### 5.5.8 PAINEL 3 - BANCADA 2

Para a segunda bancada do terceiro painel de lavra projetado, é dado pela figura 5.46, a posição espacial da bancada em relação às bancadas atuais de operação (julho de 1997) a aos outros painéis e bancadas projetadas.

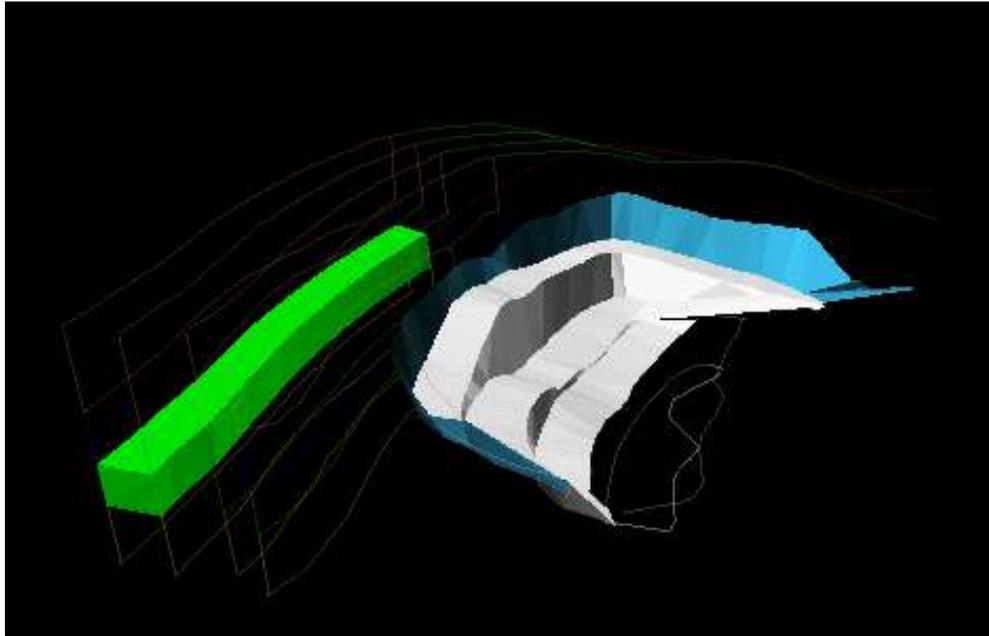


figura 5.46 - Posição espacial do painel 3 bancada 2 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.

Na figura 5.47 pode ser observada a distribuição espacial dos blocos associados a uma coloração que os identifica a um intervalo de alvura, de acordo com a legenda constante na figura. Pode ser visualizada uma predominância de blocos de alta qualidade para a bancada intermediária do terceiro painel, para ambas as dimensões de bloco estudadas.

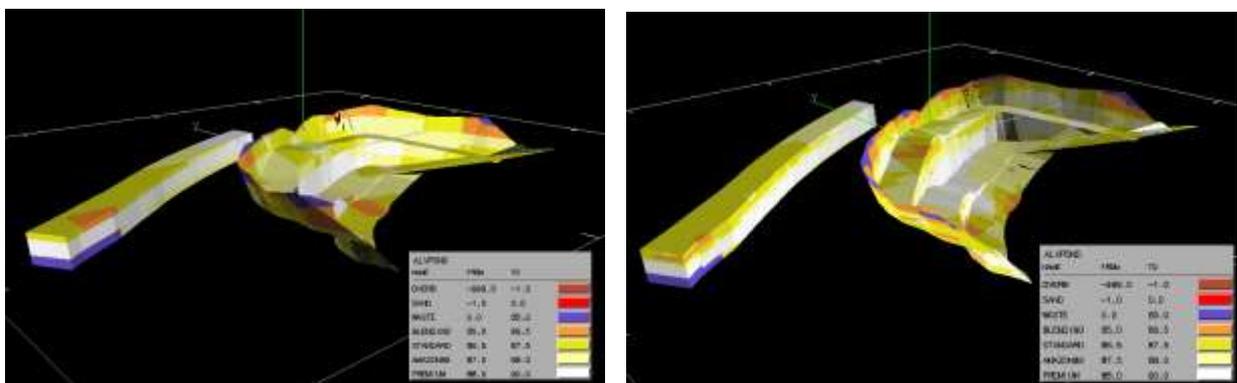


figura 5.47 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 2 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.

A figura 5.48 apresenta o gráfico de toneladas por qualidade de material contido na segunda bancada do terceiro painel. Esse gráfico vem a confirmar a presença de minério de excelente qualidade nessa bancada (tonelagem de minério acima da alvura 87.5 em relação à tonelagem total da bancada), além da homogeneidade de minérios pela semelhança apresentada pelas curvas para as diferentes dimensões de blocos.

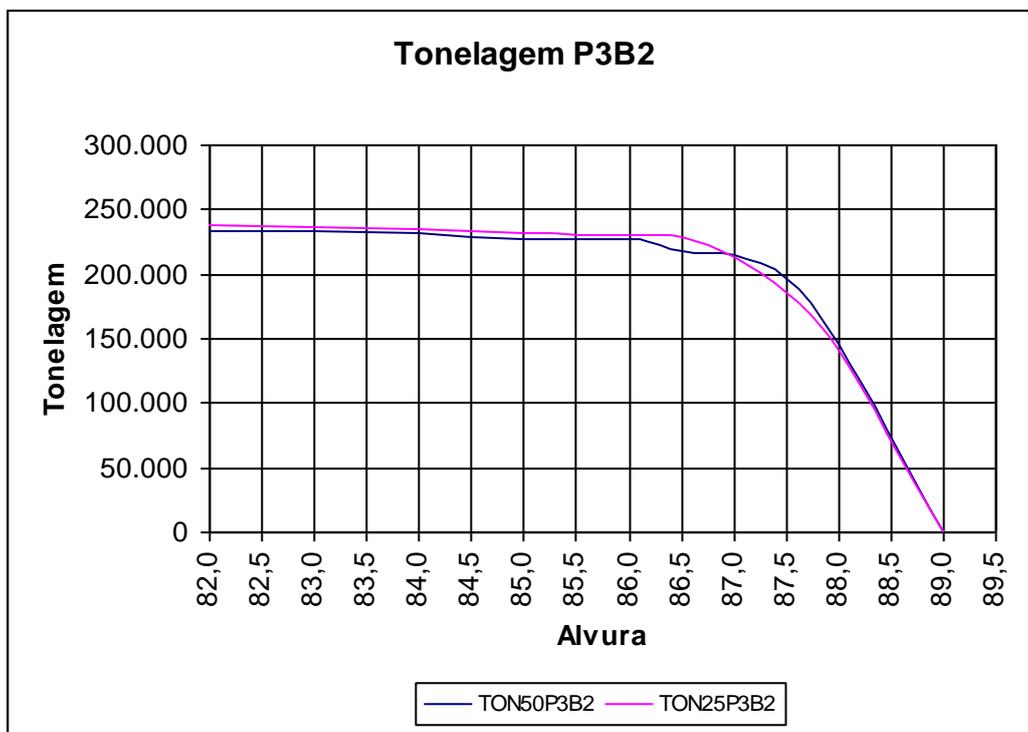


figura 5.48 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 3 bancada 2.

A figura 5.49 mostra a alvura média recuperável a cada alvura de corte estabelecida.

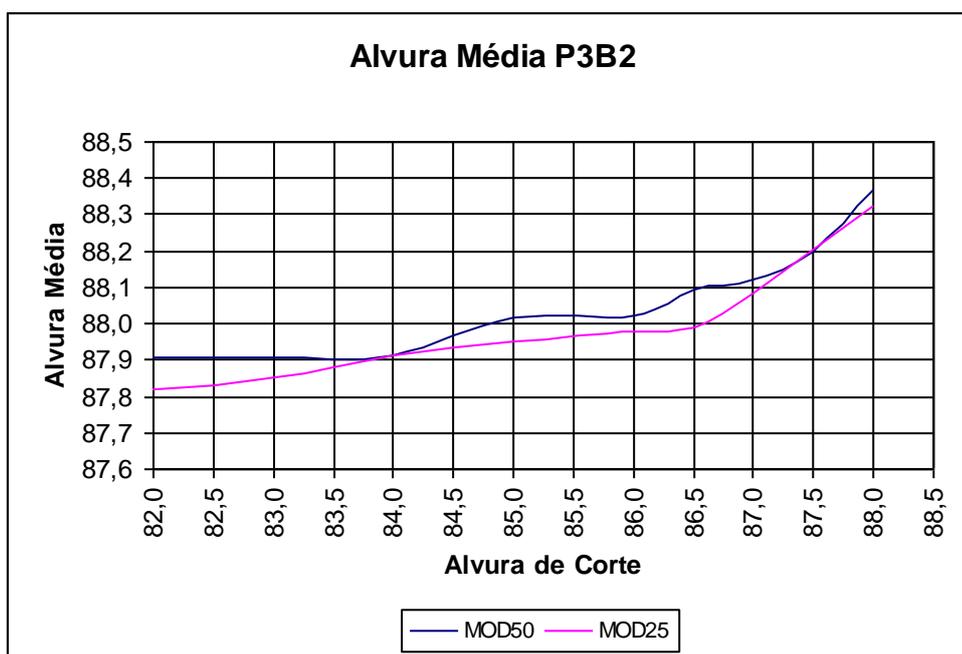
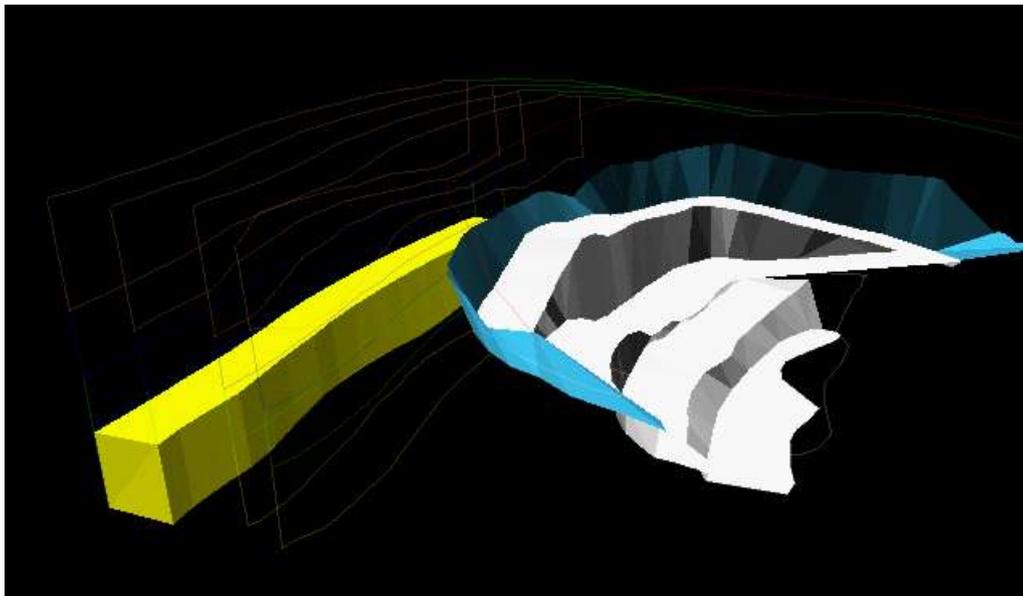


figura 5.49 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 3 bancada 2.

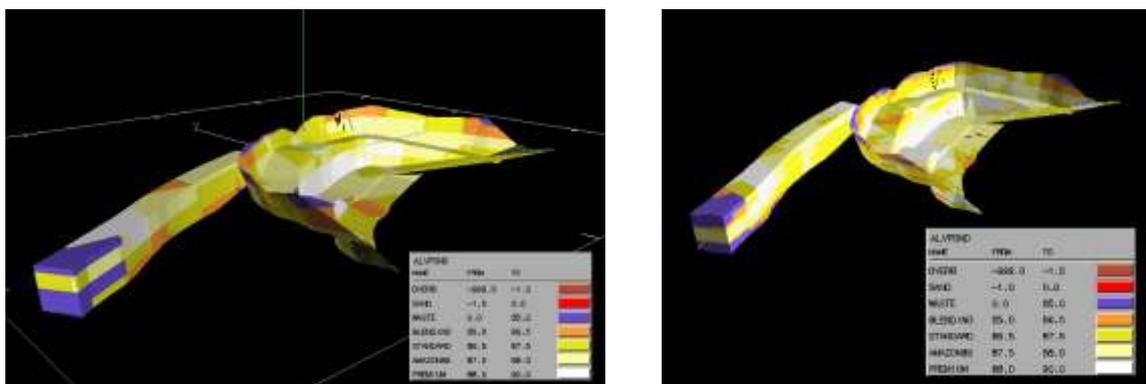
### 5.5.9 PAINEL 3 - BANCADA 3

Para a última bancada modelada, pode ser observada na figura 5.50, a posição espacial da bancada inferior do terceiro painel em relação às bancadas de lavra atuais (julho de 1997) e aos outros painéis e bancadas projetados.



*figura 5.50 - Posição espacial do painel 3 bancada 3 em relação à frente de lavra e aos outros painéis e bancadas projetadas.*

A figura 5.51 mostra a intersecção da superfície que delimita a bancada 3 do terceiro painel com os dois modelos de bloco estudados. As diferentes colorações representam intervalos de alvura de acordo com a legenda constante na figura.



*figura 5.51 - Intersecção do wireframe com os blocos para o painel 3 bancada 3 para as dimensões de 50 x 50 x 5 m e 25 x 25 x 1 m, respectivamente.*

A figura 5.52 mostra o gráfico de tonelagens para a terceira bancada do terceiro painel. Essa bancada pode ser classificada como uma bancada regular em termos de potencial de produção de caulim de alta alvura (tonelagem de minério acima de 87.5)

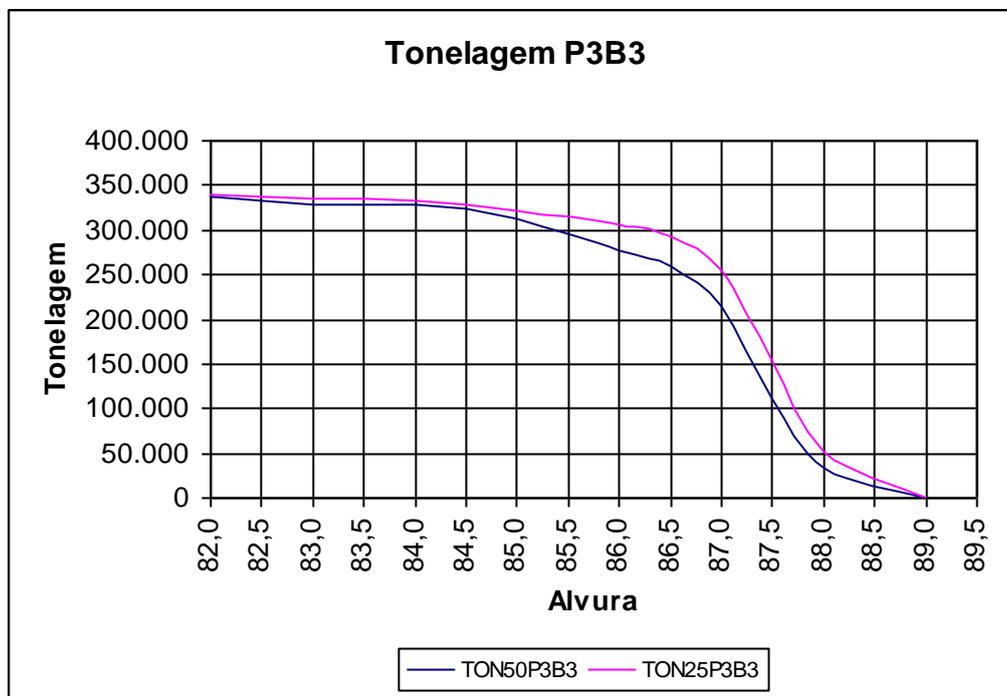


figura 5.52 - Gráfico Tonelagem x Qualidade do material para o painel 3 bancada 3.

A figura 5.53 apresenta a alvura média recuperável para diferentes alvuras de corte.

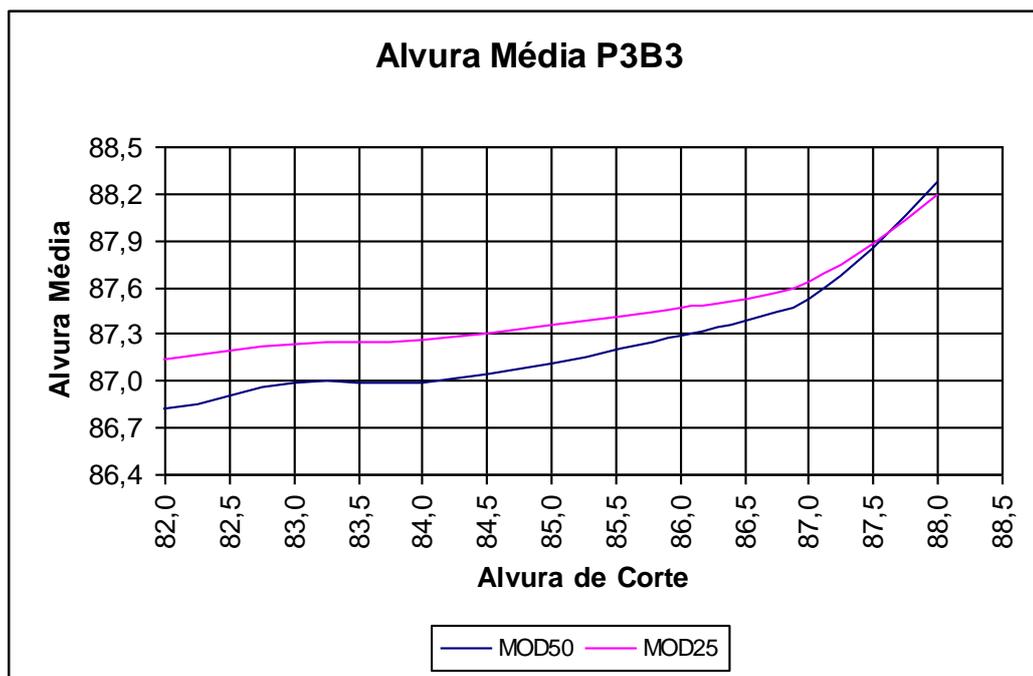
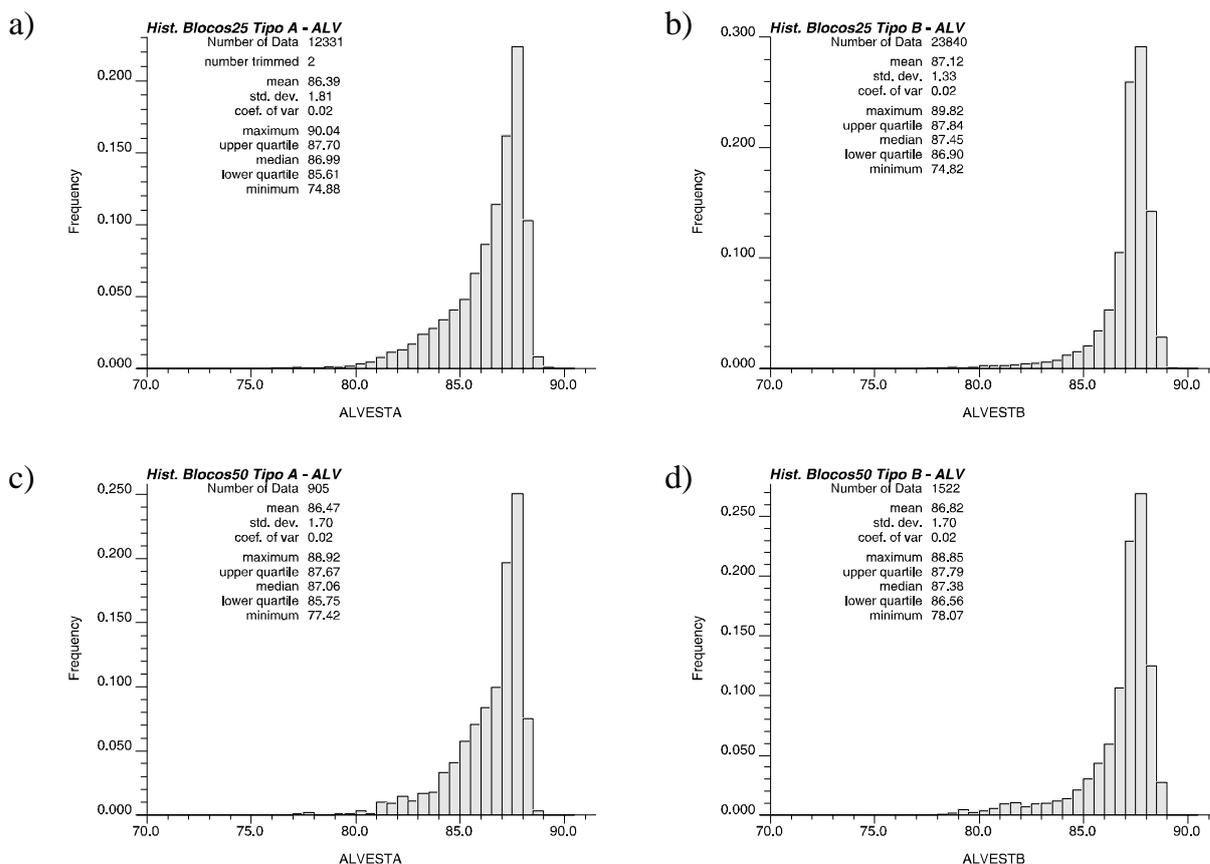


figura 5.53 - Gráfico Teor de corte x Teor médio recuperável para o painel 3 bancada 3.

**5.6. VALIDAÇÃO DOS MODELOS GERADOS**

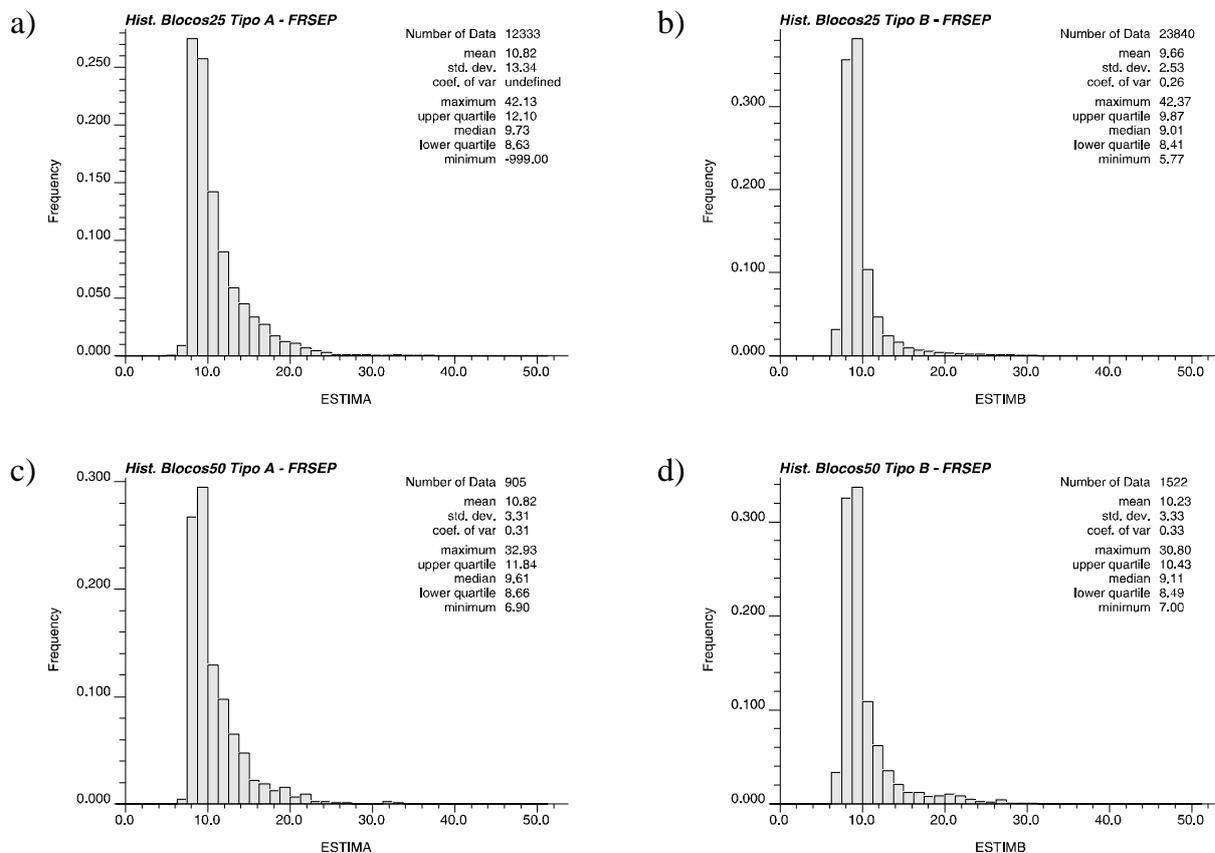
Para validação dos modelos gerados foram observados os histogramas de distribuição dos dados estimados e comparados com os histogramas dos dados amostrais. A validação realizada aqui leva em consideração a reprodução da média aritmética dos dados amostrais. A figura 5.54 apresenta os histogramas dos modelos gerados em diferentes dimensões de blocos, para cada uma das tipologias em termos da variável alvura.



**figura 5.54 - Histogramas dos modelos estimados para as duas dimensões estudadas e para a variável alvura.**

Na figura 5.54 a) e b), pode-se observar os histogramas para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, para o TIPO A e B respectivamente. Na figura 5.54 c) e d), pode-se observar os histogramas para o modelo de blocos de 50 x 50 x 5 m para as Tipologias A e B respectivamente.

A figura 5.55 apresenta novamente os histogramas dos modelos estudados, porém em termos do atributo F(R).



**figura 5.55 - Histogramas dos modelos estimados para as duas dimensões estudadas e para a variável F(R).**

Na figura 5.55 a) e b), pode-se observar os histogramas para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, para o TIPO A e B respectivamente. Na figura 5.55 c) e d), pode-se observar os histogramas para o modelo de blocos de 50 x 50 x 5 m para as Tipologias A e B respectivamente.

Para cada uma das bancadas projetadas avaliadas, foram gerados histogramas<sup>(1)</sup> para as duas dimensões de blocos estudadas. A figura 5.56 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 1 do painel 1. Na figura 5.56 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.56 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

(1) Todos os histogramas referentes às bancadas modeladas estão expressos somente em termos da variável Alvura, após a utilização nas ponderações e combinações entre amostras e blocos do atributo F(R) e conseqüente transformação pela equação (2.3). A escolha da representação dos histogramas em função da variável Alvura, deve-se à facilidade de identificação e relacionamento dos produtos obtidos a partir do modelamento com os produtos finais da Empresa, citados nas páginas 40 e 41 desta Dissertação.

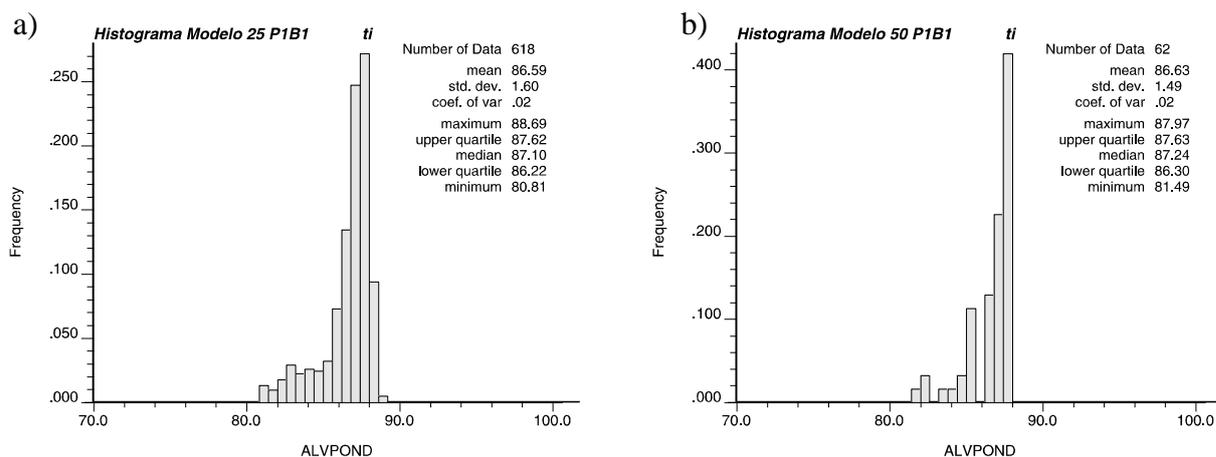


figura 5.56 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.57 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 2 do painel 1. Na figura 5.57 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.57 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

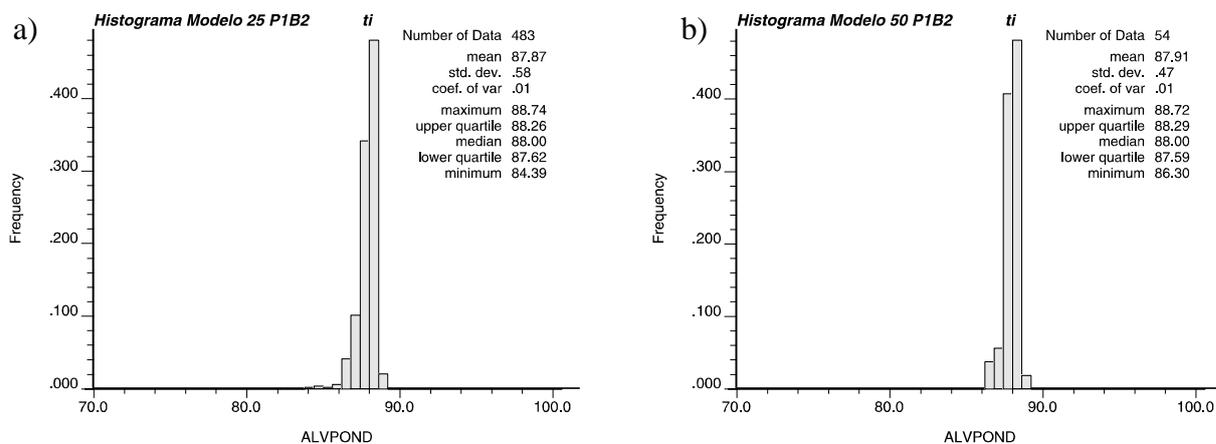
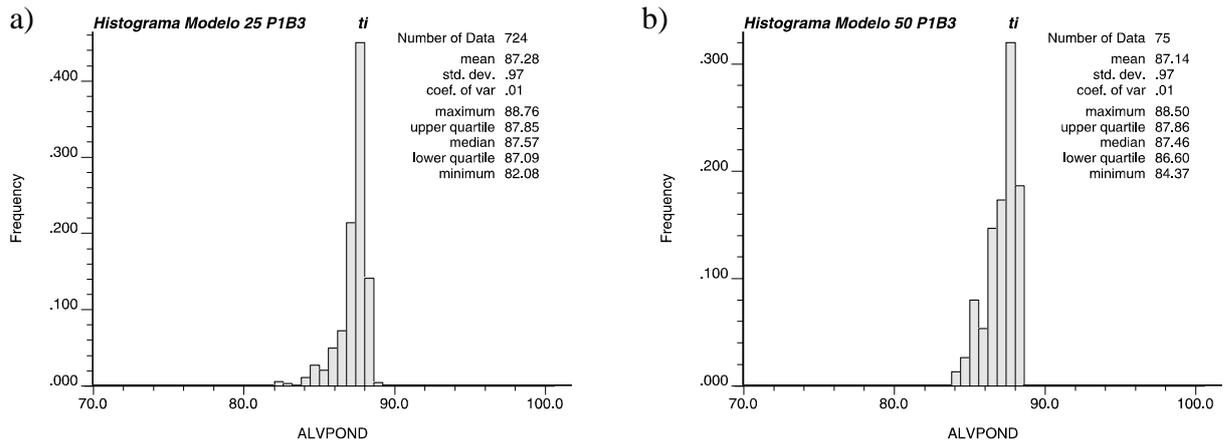


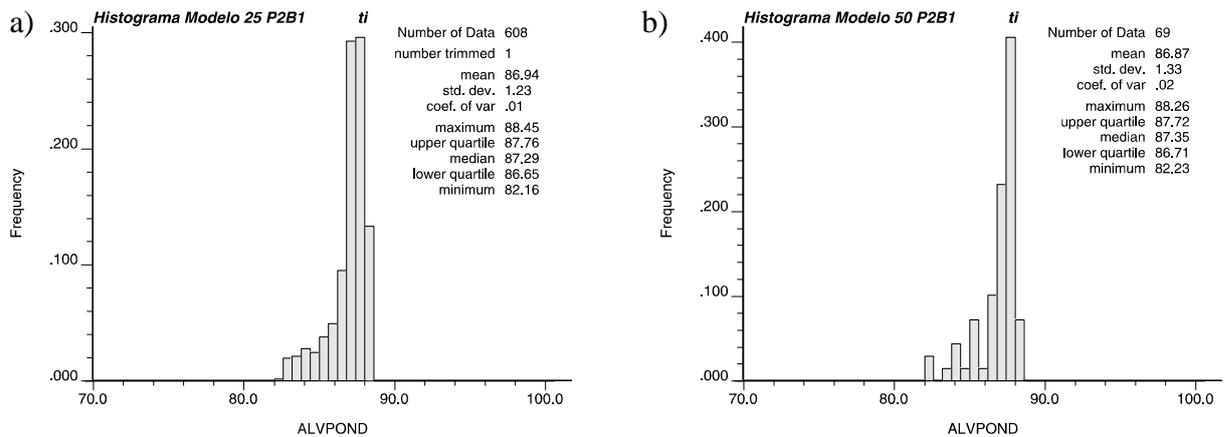
figura 5.57 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.58 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 2 do painel 1. Na figura 5.58 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.58 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.



**figura 5.58 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 1 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.**

A figura 5.59 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 1 do painel 3. Na figura 5.59 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.57 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.



**figura 5.59 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.**

A figura 5.60 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 2 do painel 2. Na figura 5.60 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.60 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

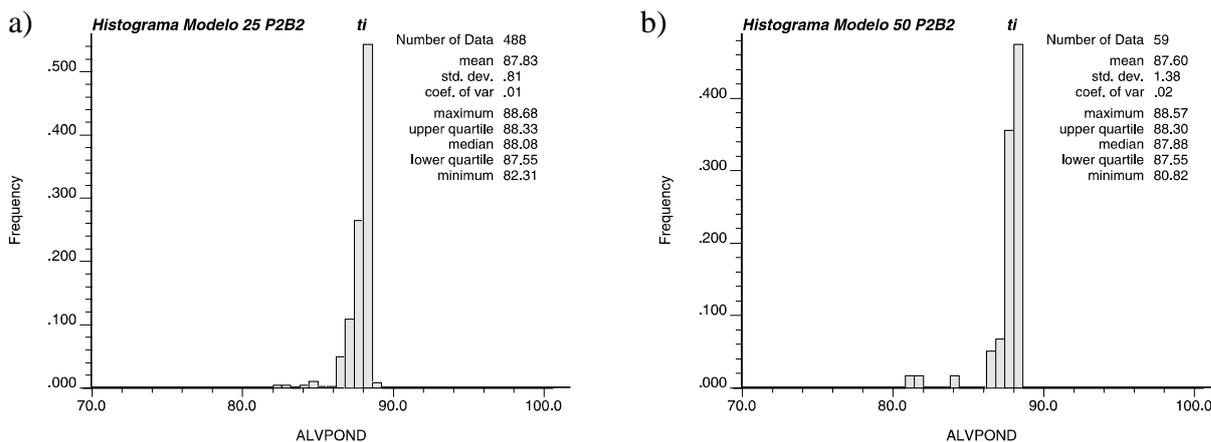


figura 5.60 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.61 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 3 do painel 2. Na figura 5.61 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.61 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

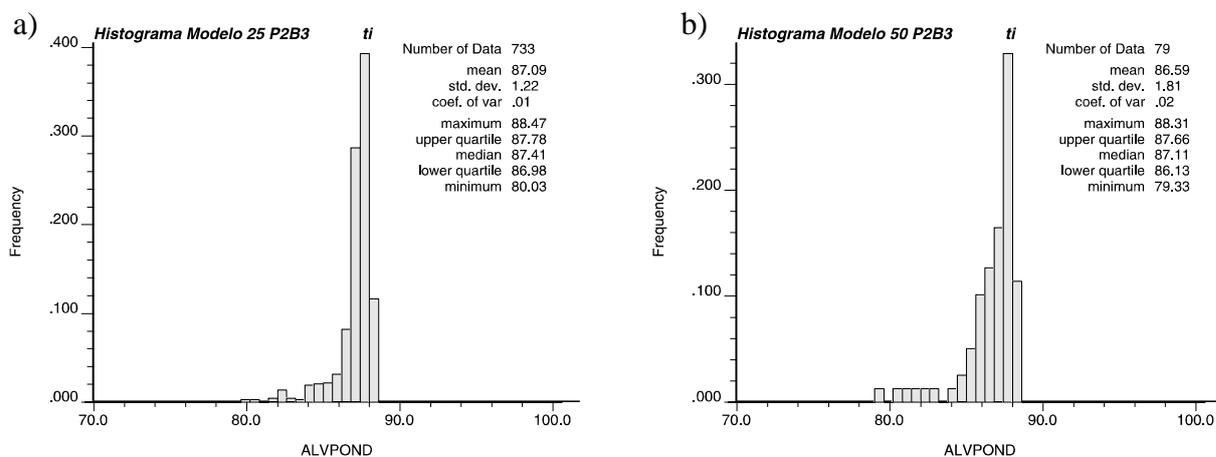


figura 5.61 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 2 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.62 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 1 do painel 3. Na figura 5.62 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.62 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

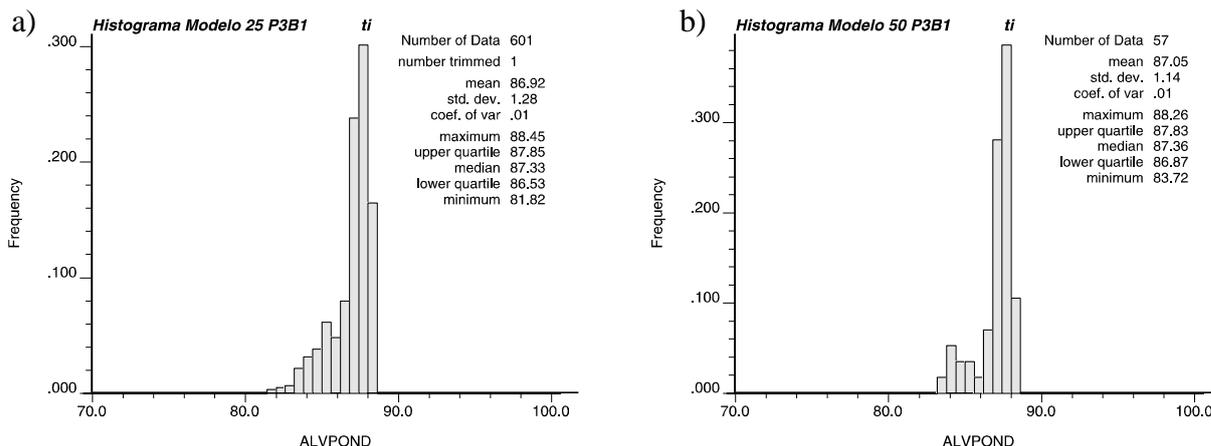


figura 5.62 - Histogramas modelados da bancada 1 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.63 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 1 do painel 3. Na figura 5.63 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.63 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

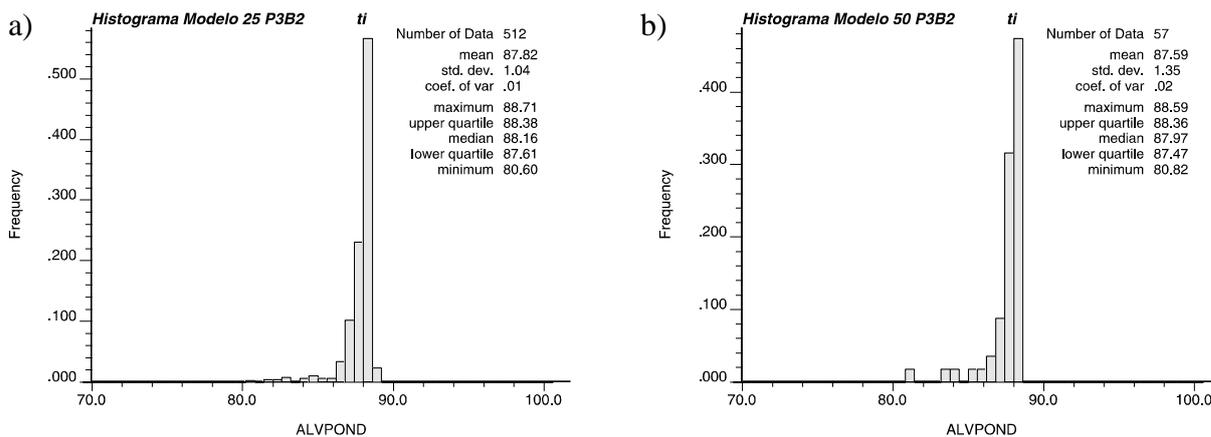


figura 5.63 - Histogramas modelados da bancada 2 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

A figura 5.64 apresenta os histogramas de distribuição para a bancada 3 do painel 3. Na figura 5.64 a) está representado o histograma para o modelo de blocos de 25 x 25 x 1 m, ao passo que na figura 5.64 b) pode-se observar o histograma para o modelo de blocos de dimensões de 50 x 50 x 5 m.

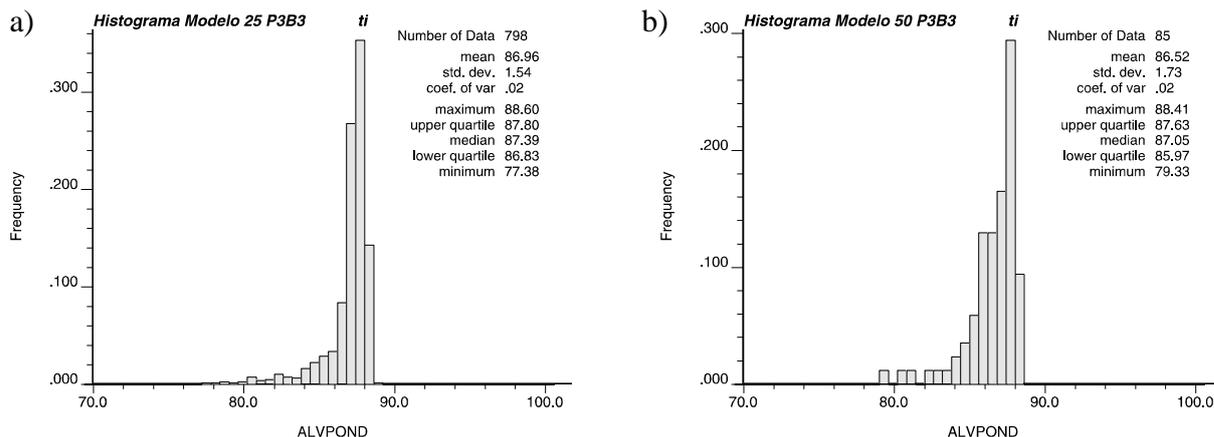


figura 5.64 - Histogramas modelados da bancada 3 do painel 3 para as dimensões de blocos de 25 x 25 x 1 m e 50 x 50 x 5 m, respectivamente.

Os histogramas das bancadas modeladas apresentados anteriormente possibilitam análises complementares aos gráficos de tonelagem<sup>(1)</sup> apresentados na seção 5.5 desse capítulo. A partir dos histogramas podem ser levantadas as distribuições de qualidade com maior variabilidade, para cada bancada.

A Tabela 5.3 apresenta os parâmetros relevantes do sumário estatístico mostrado em cada um dos histogramas para cada bancada modelada nas duas dimensões de blocos estudadas.

Tabela 5.3 - Resumo estatístico para cada um dos modelos estudados por bancada modelada.

Painel	Bancada	Blocos 25 x 25 x 1 m			Blocos 50 x 50 x 5 m		
		Desvio Padrão	Média	Coef. Var.	Desvio Padrão	Média	Coef. Var.
1	1	1,60	86,59	0,02	1,49	86,63	0,02
	2	0,58	87,87	0,01	0,47	87,91	0,01
	3	0,97	87,28	0,01	0,97	87,14	0,01
2	1	1,23	86,94	0,01	1,33	87,87	0,02
	2	0,81	87,83	0,01	1,38	86,52	0,02
	3	1,22	87,09	0,01	1,81	86,59	0,02
3	1	1,28	86,92	0,01	1,14	87,05	0,01
	2	1,04	87,82	0,01	1,35	87,59	0,02
	3	1,54	86,96	0,02	1,73	86,52	0,02

(1) Tabelas complementares com as tonelagens acumuladas por faixa de alvura, para cada uma dos bancadas, podem ser observadas no Anexo 5

Da mesma maneira foram gerados gráficos de distribuição por frequência das probabilidades estimadas para os blocos estéreis. A figura 5.65 apresenta os histogramas para cada uma das dimensões estudadas, onde novamente a reprodução da média dos dados amostrais é o parâmetro levado em consideração para avaliar a qualidade da estimativa realizada.

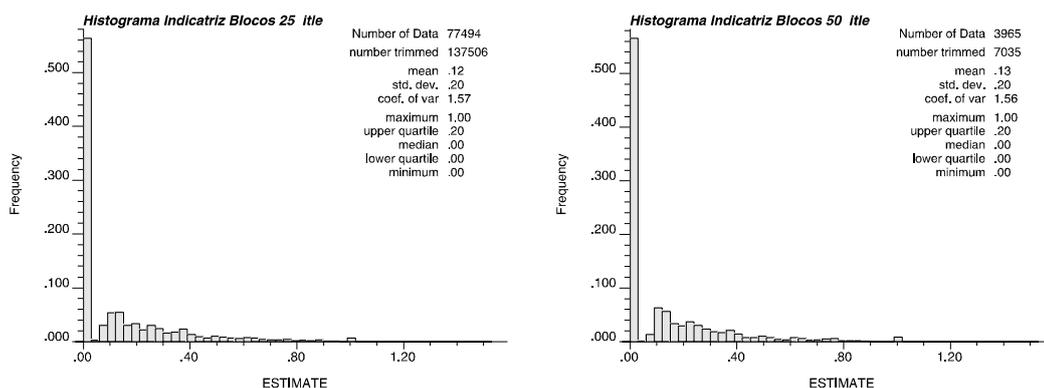


figura 5.65 - Histograma dos blocos estimados pela indicatriz para as dimensões de bloco de 25 x 25 x 1 e 50 x 50 x 5, respectivamente.

As comparações sugeridas são recursos utilizados para qualificar uma estimativa. A observação de outros parâmetros como a variância dos dados se faz inútil, uma vez que a krigagem, assim como qualquer método de estimativa linear, produz uma atenuação da variabilidade dos dados originais utilizados na estimativa.

A Tabela 5.4 apresenta a comparação entre a média dos dados e dos modelos gerados, para verificação da representatividade dos modelos de blocos gerados aos dados utilizados na estimativa.

Tabela 5.4 - Comparação entre a média dos dados e dos modelos gerados.

	Alvura média dos dados	Alvura média do modelo 50 x 50 x 5 m	Alvura média do modelo 25 x 25 x 1 m
<b>TIPO A</b>	86,28	86,28	86,28
<b>TIPO B</b>	87,15	86,68	87,03
<b>Indicatriz</b>	0,11	0,13	0,12

A reprodução da média foi considerada satisfatória a partir das diferenças numéricas mínimas obtidas entre a média dos dados e a média dos modelos.

Um recurso utilizado, mas sem efeito de validação, é a visualização de figuras representando os dados amostrais e os blocos gerados com os respectivos valores da variável de interesse associados. A limitação da utilização de mapas estimados superpostos aos dados amostrais, apresenta o problema de suporte amostral, uma vez que dispomos de blocos de dimensão muitas vezes maior que os pontos que representam volumes de 2" de diâmetro por 1 m de comprimento. Portanto a observação desses valores se verifica em um recurso meramente estético, porém sem uma real validade. Enfatizando-se novamente, que os pontos representativos dos dados amostrais podem muito bem ser uma realização dentro do bloco, mas quando considerados todos os outros pontos que o compõem, o valor médio pode vir a ser o valor estimado.

A figura 5.66 apresenta os furos de sondagem (colorações de acordo com o valor de alvura) e os blocos gerados com os valores de alvura (coloração vermelha) associado a cada um dos intervalos e blocos.



figura 5.66 - Perfil com os blocos e furos de sondagem com os respectivos valores associados aos intervalos amostrais e aos blocos estimados.

Uma validação de uma estimativa, não é uma prática facilmente aplicável, uma vez que isto só é possível com uma reconciliação dos valores dos blocos estimados minerados, com o valor real do bloco após seu beneficiamento. A dificuldade de uma reconciliação, se faz na medida que em um processo produtivo, os blocos não são minerados, estocados e tratados como unidades seletivas discretizadas em um modelo. Normalmente o que pode ser feito para uma validação é a verificação do teor médio de uma pilha de

alimentação a partir dos blocos estimados e comparado com o teor médio desse mesmo material após o processo de beneficiamento.

A figura 5.67 apresenta os valores de probabilidade para os dados da indicatriz (laranja), que para efeito de visualização devem ser comparados com os dados amostrais em vermelho, os quais são as ocorrências arenosas identificadas no processo de amostragem.

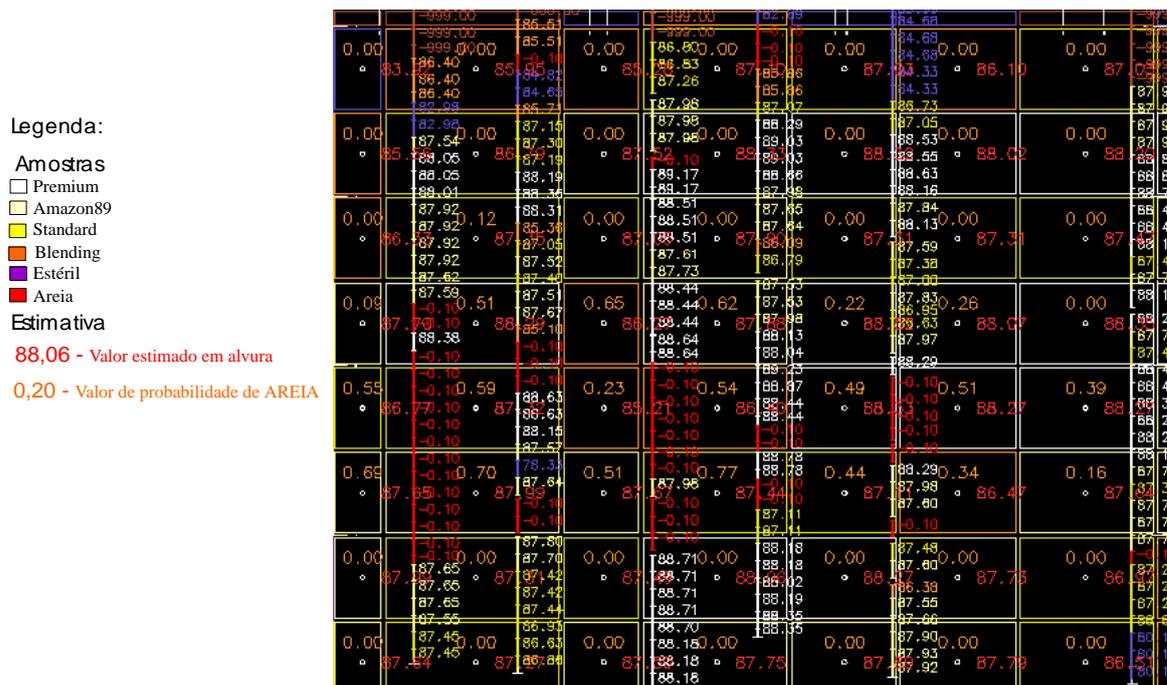


figura 5.67 - Perfil com os blocos, furos de sondagem e respectivos valores associados aos intervalos amostrais e aos blocos estimados e probabilidades associadas ao bloco de assumir a condição de estéril.

### 5.7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para esse caso de modelamento de jazida de caulins onde o atributo geológico de qualidade é a cor do minério, só fez sentido o esforço na direção de resultados de modelamento ótimos quando se obteve uma variável com comportamento adequado. Portanto a implementação da Função de Kubelka-Munk foi decisiva, em todas as escalas e número de combinações lineares realizadas entre minérios de qualidade distinta.

Se observada a figura 5.9, que representa a tonelage para a jazida inteira, podem ser observadas diferenças entre as duas curvas. Essa diferença de tonelage para cada uma das dimensões de bloco pode ser explicada da seguinte maneira: Blocos com maior dimensão se apresentam menos seletivos, ou seja, um bloco estimado em grandes dimensões pode estar englobando materiais de alta e baixa qualidade. Portanto se aplicado um modelo de blocos com dimensões reduzidas, torna-se possível discretizar com maior eficiência os materiais

bons dos ruins. Por essa razão a curva de tonelagem para o modelo de 25 x 25 x 1 apresenta menores tonelagens para teores baixos, compensada em parte por maiores tonelagens para teores altos (Tabela 5.1).

Em relação à curva de Alvura de corte x Alvura média recuperável (figura 5.11), pode ser observada a grande concentração de materiais de alta qualidade dentro da jazida como um todo. Essas curvas apresentam o teor médio da jazida ao se estabelecer um determinado corte na alvura. As tonelagens abaixo da alvura 82, por não serem expressivas, foram desprezadas para efeito de cálculo da alvura média. Segundo os resultados apresentados pelas Figuras 5.9, 5.11 e Tabela 5.1, a jazida do Felipe II possuía originalmente aproximadamente 50.000.000 de toneladas de caulim com uma alvura média de 87,04.

Porém o interessante desse estudo se concentra na avaliação e cubagem da jazida onde estão projetados os avanços. Essa região da jazida foi denominada de porção não minerada da jazida. Observando a figura 5.13 identificam-se novamente diferenças entre as duas dimensões de bloco estudadas, que podem ser traduzidas em números ao se observar a Tabela 5.2. Essas diferenças são significativas principalmente nos produtos de alta alvura, o que significa a presença de minério boa qualidade na porção não minerada. A confirmação dessa afirmativa em cima das curvas se verifica na observação das figuras 5.6, 5.7 e 5.17, onde estão mapeados os blocos para as duas dimensões para a cota 130 e pode ser visualizada a grande extensão, a noroeste dos mapas, do produto de boa qualidade (blocos brancos). Pode-se dizer que o material contido entre as cotas 125 e 135 possui excelente qualidade para produção de caulins de alta alvura, em especial os blocos discretizados entre as cotas 130 e 135 possuem uma maior abrangência em termos de área. Para essa porção da jazida estão cubadas 22.200.000 toneladas com uma alvura média de 87,12.

Os resultados das curvas de tonelagem apresentadas na figura 5.14 fornecem dados para planejamento de longo prazo, onde podem ser estabelecidos alvuras de corte de acordo com o mercado atual e projetadas as reservas e zonas a minerar da jazida.

Para as bancadas foi estabelecido um tratamento particular, onde os resultados oferecem informações para planejamento de médio prazo. Para efeito de resultados médios as bancadas foram atribuídas a qualidades relativas de bom, regular e ruim. Essa denominação levou em consideração a quantidade de caulim acima da alvura 87.5 (ISO), presente em cada bancada.

Novamente pode ser observado em cada uma das figuras o efeito da diluição pelo modelo de blocos de 50 x 50 x 5 m. A exemplo da figura 5.21, pode ser observada uma maior

tonelagem para alvuras baixas para o modelo de 50 x 50 x 5 m e para alvuras altas o modelo de 25 x 25 x 1 consegue identificar tonelagens que o outro modelo não captura.. Para a figura 5.25, a qual possui excelente qualidade média, o modelo de maiores dimensões dessa vez superestima tonelagens de boa qualidade em relação ao modelo de 25 x 25 x 1 m.

Para as bancadas projetadas, podem ser levantadas dos resultados obtidos as seguintes considerações:

Para as bancadas "1" verifica-se um material de baixa qualidade no topo da bancada, com uma relativa melhora com o aprofundamento (Figuras 5.20, 5.32, 5.43) Para ambas as dimensões de bloco estudadas essas bancadas apresentaram as mais baixas alvuras médias e as maiores variabilidades (Tabela 5.3). Avaliada como uma bancada ruim para produção de caulim de alta alvura.

As bancadas "2" produziram os melhores resultados em termos de qualidade do material (Figuras 5.24, 5.36, 5.47), apresentaram as maiores alvuras médias e as menores variabilidades (Tabela 5.3), possibilitando a afirmação da presença de um minério extremamente homogêneo e de alta qualidade contido nessa bancada. Avaliada como uma bancada boa para produção de caulim de alta alvura.

Para as bancadas "3" pode ser dito que estão em um nível intermediário. São encontrados blocos de alta alvura no topo dessas bancadas, mas que com o aprofundamento do corpo transformam-se em minérios de qualidade média (Figuras 5.28, 5.40, 5.51). Apesar do maior volume atribuído a essas bancadas ainda assim apresentaram qualidades médias satisfatórias, com determinado grau de variabilidade (Tabela 5.3). Avaliadas como bancadas regulares para produção de caulim de alta alvura.

As considerações acima confirmam a afirmativa de que existe concentração de material de alta qualidade entre as cotas 125 e 135, além de confirmar a continuidade no plano horizontal da jazida, pois o que se verificou em uma bancada se repetiu ao longo da própria bancada e nas bancadas laterais contíguas, nas cotas correspondentes.

Da validação dos modelos foram avaliadas as estimativas realizadas para cada um dos modelos por comparação da média dos dados com as média das estimativas realizadas. A Tabela 5.4 reúne os dados relevantes das tabelas estatísticas nas Figuras 3.1, 3.2 e 4.4 com as tabelas estatísticas presentes nas Figuras 5.54 e 5.65. Pode ser observada a reprodução da média dos dados amostrais em relação aos blocos estimados para ambas as dimensões estudadas e Tipologias discretizadas, indicando que ambos os modelos estudados produziram resultados coerentes e satisfatórios.

A figura 5.54 mostra também o efeito da mudança de suporte na distribuição dos dados estimados. Ou seja, com o aumento da dimensão de blocos pode ser observada uma diminuição do espalhamento dos dados, onde valores máximos tendem a diminuir, ao passo que valores mínimos tendem a aumentar. Esse comportamento pode ser explicado pela diluição de valores extremos por valores médios quando combinados dentro de blocos de dimensões cada vez maiores. Assim como o suporte aumenta a distribuição começa gradualmente a tornar-se mais simétrica, podendo ser observada a aproximação da média e mediana na distribuição dos dados.

## **CAPÍTULO 6**

### ***CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES***

Esse capítulo aborda de maneira crítica os resultados obtidos, fazendo uma análise da estimativa e dos modelos gerados. Além de conclusões, nesse capítulo são levantadas proposições de continuidade dos trabalhos a partir desse primeiro estudo com a finalidade de avaliação, modelamento e planejamento da jazida de caulim do Felipe II. Esse estudo certamente trará à tona situações polêmicas na área de avaliação de jazidas e dará motivo para questões múltiplas a respeito da reprodução da realidade e da acuracidade com que foram gerados os modelos, utilizando técnicas geoestatísticas. Porém fica explícita a validade e a necessidade da utilização de um suporte técnico robusto para o planejamento de lavra, onde deve estar baseada qualquer decisão, antes de considerar esse ou aquele bloco aproveitável ou não.

A intenção dessa dissertação de mestrado além de um produto acadêmico, propôs-se a atingir resultados aplicáveis ao caso estudado, reforçando o crescimento continuado de uma interação Universidade x Empresa. Resultados, no sentido estrito da palavra, são conseqüências advindas de um conjunto de esforços em uma direção. A partir das considerações constantes nesse capítulo, devem ficar claras as aplicabilidades e limitações dos métodos utilizados além da conscientização da necessidade de estudos adicionais complementares. As proposições desse estudo não são consideradas definitivas, para tanto são sugeridas uma série de outras técnicas e implementações no sentido de produzir resultados complementares e adicionais.

### 6.1. CONCLUSÕES

Todos os resultados gerados nesse estudo estão relacionados à utilização da Função de Kubelka-Munk. Mesmo considerando a maneira simplificada como foi implementada e sabendo das restrições de aplicabilidade, somente a partir dessa transformação pôde-se aplicar procedimentos geoestatísticos fazendo uso de modelos de função randômica estacionária. Portanto não seria demasiado exagero sugerir a introdução desta função no dia-a-dia da empresa como parâmetro de qualidade. A utilização simultânea da variável alvura e da transformação pela Função de Kubelka-Munk, pode gerar uma demanda exaustiva de transformações. Haja visto que a cada combinação que se queira realizar entre alíquotas de minérios deve-se sempre utilizar a Função de Kubelka-Munk. Reforçando novamente a idéia da introdução da Função de Kubelka-Munk como parâmetro de qualidade na prática diária, pergunta-se: Porque fazer uma transformação em definitivo de uma variável que terá de ser retornada a todo o momento que se queira fazer uma previsão de mistura ou combinação? Em cima desta questão sugere-se a adequação de uma mentalidade voltada para valores em termos da Função de Kubelka-Munk para controle operacional da qualidade de minérios de caulim, deixando a lembrança do nome alvura para o produto final de venda para o mercado.

Por tratar-se de um estudo de modelamento de jazida, utilizando estimativa por krigagem ordinária, procurou-se responder questões relacionadas a um modelo de blocos tridimensional, onde se tem acesso ao valor médio estimado para o bloco com a maior acuracidade possível. Dessa forma, fica constituída uma ferramenta para auxílio e orientação no planejamento de médio e longo prazo pela previsão do valor do atributo de qualidade presente em cada zona da jazida.

Em relação ao produto de uma estimativa, utilizando qualquer método linear de estimativa, deve-se estar atento para a atenuação da realidade, gradando sempre de altos, passando pelos médios até os baixos teores ou vice-versa. Um método de estimativa, como citado anteriormente, não é a ferramenta adequada para reprodução da variabilidade associada ao minério, e sim para acesso a um valor médio estimado não tendencioso.

A expectativa de encontrar em um bloco o valor exato predito, pode muitas vezes ser decepcionante. Isto ocorre porque associado a um bloco, inevitavelmente, está embutida a variabilidade devido ao processo amostral (quantidade e qualidade da informação disponível) e a variabilidade intrínseca ao tipo de jazimento. Portanto o acesso a um valor sempre deve

ser traduzido por um número associado à sua variabilidade, para evitar surpresas desagradáveis. O que se quer justificar aqui não são os possíveis erros provenientes de um modelo estimado, mas sim restringir as incertezas associadas a unidades seletivas de lavra (USLs). Portanto com toda certeza o valor estimado de um bloco não será igual ao valor real, mas se considerado um volume de material maior, ou um conjunto de blocos como uma bancada inteira em um painel de lavra, a variabilidade associada será bem menor e o valor médio esperado para essa bancada ou painel, provavelmente será reproduzido. O que quer dizer que pode-se acessar a distribuição de frequência de um conjunto de blocos estimados, porém não se pode precisar a localização de cada teor. Ou de maneira inversa, pode-se prever a localização de teores associados a determinados blocos, mas a distribuição de frequência não será a realidade e sim uma estimativa atenuada dos valores verdadeiros. Podemos levantar dessa discussão que para o problema de tendenciosidade em uma estimativa, o método da krigagem produz a melhor resposta, buscando minimizar o erro, porém não nos dá acesso à variabilidade.

Após essa exposição está-se apto a abordar a influência de dimensão de blocos, quantidade de informação disponível sobre as reservas recuperáveis da jazida.

Devido ao fato de não explorarmos um depósito mineral unicamente baseado em dados amostrais e sim em blocos bem maiores em função do equipamento disponível e da seletividade desejada, nos deparamos com o problema chamado efeito de suporte.

Outra ressalva ao decidirmos considerar um bloco estéril ou minério, fazemos isto com base em teores estimados. O fato dessa decisão se valer de um critério indireto, pois não se conhece o teor real desse bloco, nos conduz a uma inevitável deterioração das curvas de parametrização, ao que chamamos de efeito de informação. Portanto inevitavelmente serão cometido erros de seleção com base nos valores estimados, onde blocos de minério serão considerados estéreis e vice-versa.

Das tabelas 5.1 e 5.2 pode ser observada a maior recuperação de blocos de alta alvura para o modelo de menor suporte. Da tabela 5.1 quando analisada a qualidade do material final pode ser observada um aumento de 2% na recuperação da jazida para o modelo de blocos com 25 x 25 x 1 m. Da tabela 5.2, que está relacionada à porção não minerada da jazida, pode ser observado um ganho ainda maior, da ordem de 5% da tonelagem presente nessa área. Esses resultados indicam que a adoção das dimensões de bloco de 25 x 25 x 1 m produzem um aumento na recuperação de minério de caulim de qualidade no Depósito do Felipe II, além de discretizar melhor as zonas de ocorrência de materiais de baixa qualidade.

Apesar dos resultados produzidos por modelos de dimensão reduzida, há que se lembrar que existem limites de aplicabilidade para dimensão de blocos. A quantidade de informação disponível, condições tecnológicas, liberação do bloco de acordo com o método de mineração empregado, conceituação de unidade seletiva de lavra são os limitantes de um modelo de dimensões extremamente reduzidas.

A proposta da criação de modelos de diferentes dimensões tem por objetivo final a sugestão de um dos modelos para emprego na avaliação da jazida e planejamento da lavra, considerando diferentes aspectos. E por fim, o emprego de um modelo de blocos de dimensões reduzidas, só se faz interessante na medida em que o processo extrativo ao se tornar extremamente seletivo, possua a capacidade e a mentalidade de que a estocagem de materiais de diferentes qualidades destinados ao processo de beneficiamento em pilhas de discretas é uma solução prática que visa reduzir a variabilidade do minério de alimentação à planta.

As condições de aplicabilidade acima relacionadas dão um indicativo das possibilidades de adoção de modelos seletivos à realidade de operação, cabendo ao engenheiro de planejamento associar as necessidades eminentes do processo produtivo com as ferramentas à disposição. Ou da maneira inversa, pode ocorrer o ajuste e modernização do processo produtivo para obtenção dos resultados exigidos.

Concluindo este trabalho, podemos rever o tópico 1.2, dessa dissertação, que trata dos objetivos inicialmente propostos e verificar que:

- A introdução da utilização da Função de Kubelka-Munk foi o ponto chave para o modelamento proposto;
- A comparação da seletividade produzida por modelos de diferentes dimensões foi válida por proporcionar a observação de diferentes recuperações para cada um dos modelos, além de fornecer substrato para um planejamento de longo prazo, a partir das curvas de recuperação do depósito.
- O modelamento por painéis e bancadas sugeriu uma ferramenta de planejamento a médio prazo, considerando que se conhece o valor médio de uma bancada e restringiu-se a variabilidade associada a pequenos suportes amostrais, interpretando-os como um conjunto de blocos inseridos em um volume maior.

**6.2. PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Os seguintes temas são sugeridos para continuidade deste trabalho:

- 1) Krigagem e Simulação condicional para avaliação de novas áreas de interesse;
- 2) Simulação para controle de teor em frente de lavra;
- 3) Estudo e dimensionamento para implementação de pilhas de qualidade e homogeneização (misturador);
- 4) Simulação de dimensão de pilha de alimentação relativa à dimensão de blocos de lavra e fluabilidade de teor;
- 5) Seletividade x dimensionamento de equipamento de lavra;
- 6) Mapeamento por simulação de áreas de incerteza associada à estimativa para adensamento de sondagem;
- 7) Orientação das bancadas à direção dos blocos do modelo;
- 8) Implementação de uma sistemática de controle de teor em frente de operação (trado, ou outro);
- 9) Introdução de função de perda na penalização de má estimativa de blocos;
- 10) Estudos de aplicabilidade incondicional da Função de Kubelka-Munk como atributo de qualidade de minérios onde a cor do material seja determinante;
- 11) Estimativa e simulação dos teores de sílica contidos em cada um dos blocos para avaliação da qualidade do bloco combinada com a contaminação em sílica;
- 12) Co-krigagem de contaminantes colorantes.

***Referências Bibliográficas***

- COSTA, J. F. **Developments in Recoverable Reserves Estimation and Ore Body Modelling.** PhD Thesis - University of Queensland, Australia. 1997, 330p.
- DAGBERT, M., **Cut-off grades: statistical estimation and reality.** CIM Bulletin, 1987, v. 80, p. 73 - 76.
- DAVID, M., **Grade tonnage curve: use and misuse in ore reserve estimation.** Trans. Inst. Min. Metall., 1972, sect. A, p. 129-132.
- DAVID, M. **Geostatistical Ore Reserve Estimation.** Elsevier Science Publisher B.V. USA. 1977, 364p.
- DAVID, M. **Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation.** Elsevier Science Publisher B.V. USA. 1988, 216p.
- DEUTSCH, C.; JOURNAL, A. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide.** Oxford University Press. USA. 1992, 340p.
- DNPM, **Projeto RADAM - Levantamento de Recursos Naturais**, 1974, v. 5, p. I e 10.
- DUARTE, A.; KOUTSCHOUBEY, B. **Cobertura Caulínica da Região do Baixo Rio Jari - Proposta de Evolução.** IV Simpósio Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, Belém- PA, 1994, p.79-82,.
- GOOVAERTS, P., **Comparative performance of indicator algorithms for modelling conditional probability distribution functions.** Mathematical Geology, 1994, v. 26, p. 389 - 411.
- HULSE, D. E., **The consequences of block size decisions in ore body modelling.** 23<sup>rd</sup>

APCOM Proceedings, 1992, p. 225 - 231.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.H. **Applied geostatistics**. Oxford University Press. USA. 1989, 561p.

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

JOURNEL, A. G., **The indicator approach to estimation of spatial distributions**. Proceedings of the 17<sup>th</sup> APCOM Symposium Society of Mining Engineers, 1983, AIME, New York, p. 793 - 806.

JOURNEL, A. G., **Nonparametric estimation of spatial distributions**. Mathematical Geology, 1983, v. 15, p. 445 - 468.

JOURNEL, A. G., **Recoverable reserves estimation - the geostatistical approach**. Mining Engineering, June 1985, p. 563 - 568.

MATHERON, G., **Principles of Geostatistics**. Economic Geology, v. 58, pag 1246-1266, 1963.

MATHERON, G., **The theory of regionalized variables and its applications**. Les Cahiers du CMM. Fasc. n<sup>o</sup> 5, ENSPM, Paris, 1971

MATHERON, G., **Randon Functions and their application in geology**. Geostatistics - A Colloquium, 1970, Plenum Press, New York, p. 79 - 87,

PETTER, C. O. **Contribution à l'Étude de la Valorisation de Kaolins pour l'Industrie Papeliere: Mise au Point D'une Methodologie Colorimetrique, application à la selectivité minière**. Tese de Doutorado - École des Mines de Paris, 1994., 300p.

PICKERING JR., S. M. ; HURST, V. J. **Commercial Kaolins in Georgia**. Georgia Geological Society Guidebooks, v. 9, n<sup>o</sup> 1, 1989, p 29-75.

REMACRE, A. Z., **O problema da estimação de reservas recuperáveis na geostatística.**

Revista da Escola de Minas, 1985, v. 38, p. 30 - 34.

SWITZER, P., **Estimation of spatial distributions from point sources with application to air**

**pollution measurement.** Bull. Int. Statistical Institute, 1977, v. 47, p. 123 - 137.

SOLOW, A. R., **Mapping by simple indicator kriging.** Mathematical Geology, 1986, v. 18, p.

335 - 352.

WHEELER, A. J., STOKES, P. C., **The use of block and wireframe modelling for**

**underground mining.** Mining Magazine, March 1988, p. 209 - 213.

**ANEXO 1**  
Macros DATAMINE e fluxuogramas  
para geração do modelo da cobertura

Macro para geração de modelo da cobertura para blocos de 50 x 50 x 5 m

```

!START TRIVCOB
0
0 -----
0  MODELO PARA A COBERTURA
0  -----
0
! IJKGEN  &PROTO( PROT5 ) , &IN( OK50FRA ) , &OUT( TEMP1 ) , *X( X ) , *Y( Y ) ,
          *Z( Z ) , @PSMODEL=1.0
! TRIVAL  &MODELI( TEMP1 ) , &WIREPT( WMINETAP ) , &WIRETR( WMINETA ) ,
          &RESULTS( RESCOB ) , &MODELO( TEMP11 ) , @DENSITY=2.67 , @FULLCELL=0.0 ,
          @MINE=1.0 , @PLANE=1.0 , @INCRMENT=1.0 , @MODLTYPE=4.0 ,
          @CHKOVLAP=1.0 , @PRINT=0.0 , @ECHO=0.0
Y
! COPY    &IN( TEMP11 ) , &OUT( TEMP2 ) , MINED>0.001
! GENTRA  &IN( TEMP2 ) , &OUT( TEMP3 ) , @ECHO=0.0
THIS
MINEDAC
MINED
END
Y
! SELDEL  &IN( TEMP3 ) , &OUT( TEMP4 ) , *F1( MINED ) , @KEEPALL=0.0
! MGSORT  &IN( TEMP4 ) , &OUT( TEMP5 ) , *KEY1( IJK ) , @ORDER=1.0
! TRIVAL  &MODELI( TEMP5 ) , &WIREPT( WMINCOBP ) , &WIRETR( WMINCOB ) ,
          &RESULTS( RESA ) , &MODELO( TEMP6 ) , @DENSITY=2.67 , @FULLCELL=0.0 ,
          @MINE=1.0 , @PLANE=1.0 , @INCRMENT=1.0 , @MODLTYPE=3.0 ,
          @CHKOVLAP=1.0 , @PRINT=0.0 , @ECHO=0.0
Y
! COPY    &IN( TEMP6 ) , &OUT( TEMP8 ) , MINED>0.001
! GENTRA  &IN( TEMP8 ) , &OUT( TEMP9 ) , @ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDC
MINED
SETC
ESTIMATE
-999
END
Y
! SELDEL  &IN( TEMP9 ) , &OUT( TEMP10 ) , *F1( MINED ) , @KEEPALL=0.0
! MGSORT  &IN( TEMP10 ) , &OUT( COBMIN50 ) , *KEY1( IJK ) , @ORDER=1.0
! END

```

## Anexo 2

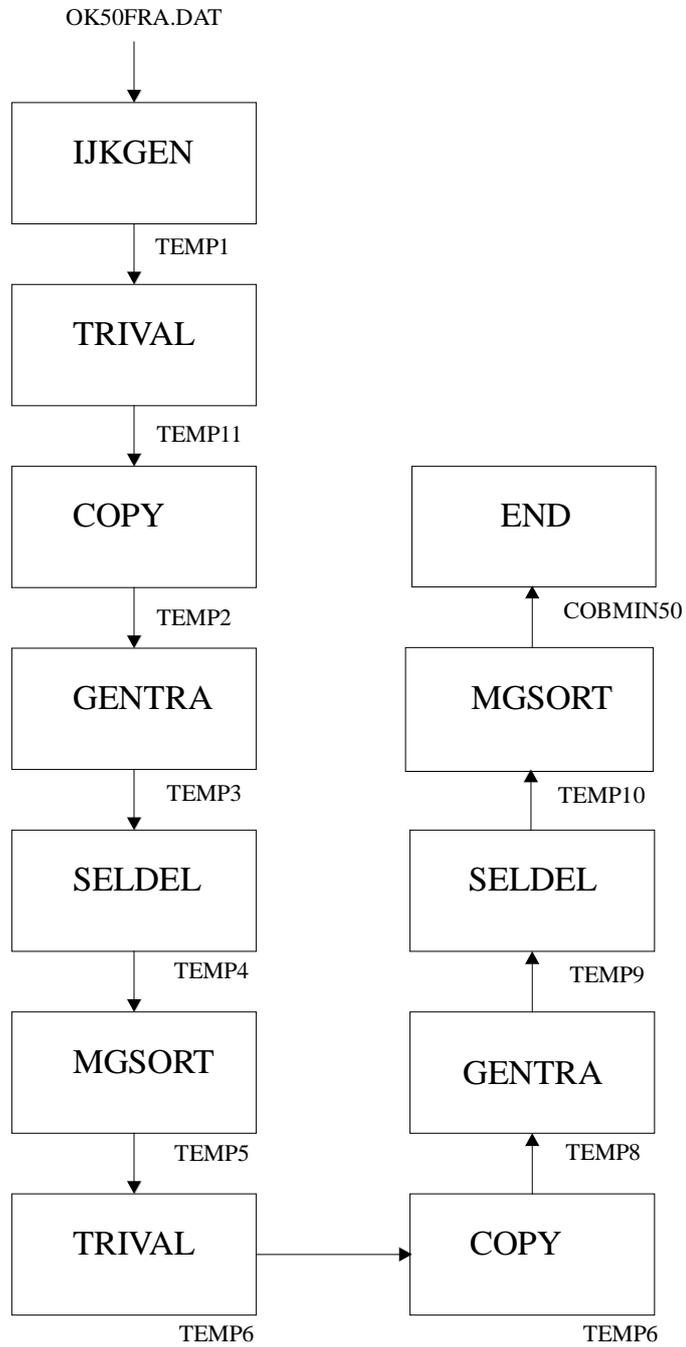
Macro para geração de modelo da cobertura para blocos de 25 x 25 x 1 m

```

!START TRIVCOB
0
0 -----
0  MODELO PARA A COBERTURA
0  -----
0
! IJKGEN  &PROTO( PROT25 ), &IN( OK25FRA ), &OUT( TEMP1 ), *X( X ), *Y( Y ),
          *Z( Z ), @PSMODEL=1.0
! TRIVAL  &MODELI( TEMP1 ), &WIREPT( WMINETAP ), &WIRETR( WMINETA ),
          &RESULTS( RESCOB ), &MODELO( TEMP11 ), @DENSITY=2.67, @FULLCELL=0.0,
          @MINE=1.0, @PLANE=1.0, @INCRMENT=1.0, @MODLTYPE=4.0,
          @CHKOVLAP=1.0, @PRINT=0.0, @ECHO=0.0
Y
! COPY    &IN( TEMP11 ), &OUT( TEMP2 ), MINED>0.001
! GENTRA  &IN( TEMP2 ), &OUT( TEMP3 ), @ECHO=0.0
THIS
MINEDAC
MINED
END
Y
! SELDEL  &IN( TEMP3 ), &OUT( TEMP4 ), *F1( MINED ), @KEEPALL=0.0
! MGSORT  &IN( TEMP4 ), &OUT( TEMP5 ), *KEY1( IJK ), @ORDER=1.0
! TRIVAL  &MODELI( TEMP5 ), &WIREPT( WMINCOBP ), &WIRETR( WMINCOB ),
          &RESULTS( RESA ), &MODELO( TEMP6 ), @DENSITY=2.67, @FULLCELL=0.0,
          @MINE=1.0, @PLANE=1.0, @INCRMENT=1.0, @MODLTYPE=3.0,
          @CHKOVLAP=1.0, @PRINT=0.0, @ECHO=0.0
Y
! COPY    &IN( TEMP6 ), &OUT( TEMP8 ), MINED>0.001
! GENTRA  &IN( TEMP8 ), &OUT( TEMP9 ), @ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDC
MINED
SETC
ESTIMATE
-999
END
Y
! SELDEL  &IN( TEMP9 ), &OUT( TEMP10 ), *F1( MINED ), @KEEPALL=0.0
! MGSORT  &IN( TEMP10 ), &OUT( COBMIN25 ), *KEY1( IJK ), @ORDER=1.0
! END

```

TRVALCOB50.MAC



**ANEXO 2**  
Macro DATAMINE para geração de  
modelo de blocos estéreis para a jazida

Macro para geração de modelo de blocos estéreis para dimensão de 50 x 50 x 5 m

```

!START IK50
0
0 -----
0  MODELO PARA A INDICATRIZ
0  -----
0
!INPDDF &OUT( IKAB50 ),@PRINT=0.0
IKAB50.DAT
!IJKGEN &PROTO( PROT5 ),&IN( IKAB50 ),&OUT( TEMP1 ), *X( X ), *Y( Y ),
      *Z( Z ),@PSMODEL=1.0
!TRIVAL &MODELI( TEMP1 ),&WIREPT( WMINETAP ),&WIRETR( WMINETA ),
      &RESULTS( RESTA ),&MODELO( TEMP2 ),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
      @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=3.0,
      @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN( TEMP2 ),&OUT( TEMP3 ),MINED>0.001
!GENTRA &IN( TEMP3 ),&OUT( TEMP4 ),@ECHO=0.0
THIS
MINEDIK1
MINED
END
Y
!SELDEL &IN( TEMP4 ),&OUT( TEMP5 ), *F1( MINED ),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN( TEMP5 ),&OUT( TEMP6 ), *KEY1( IJK ),@ORDER=1.0
!TRIVAL &MODELI( TEMP6 ),&WIREPT( WMINEBAP ),&WIRETR( WMINEBA ),
      &RESULTS( RESBA ),&MODELO( TEMP7 ),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
      @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=4.0,
      @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN( TEMP7 ),&OUT( TEMP8 ),MINED>0.001
!GENTRA &IN( TEMP8 ),&OUT( TEMP9 ),@ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDBA
MINED
THIS
IK
ESTIMATE
END
Y
!SELDEL
&IN( TEMP9 ),&OUT( TEMP10 ), *F1( MINED ), *F2( ESTIMATI ), *F3( ESTIMATE ),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN( TEMP10 ),&OUT( MMINIK50 ), *KEY1( IJK ),@ORDER=1.0
!END

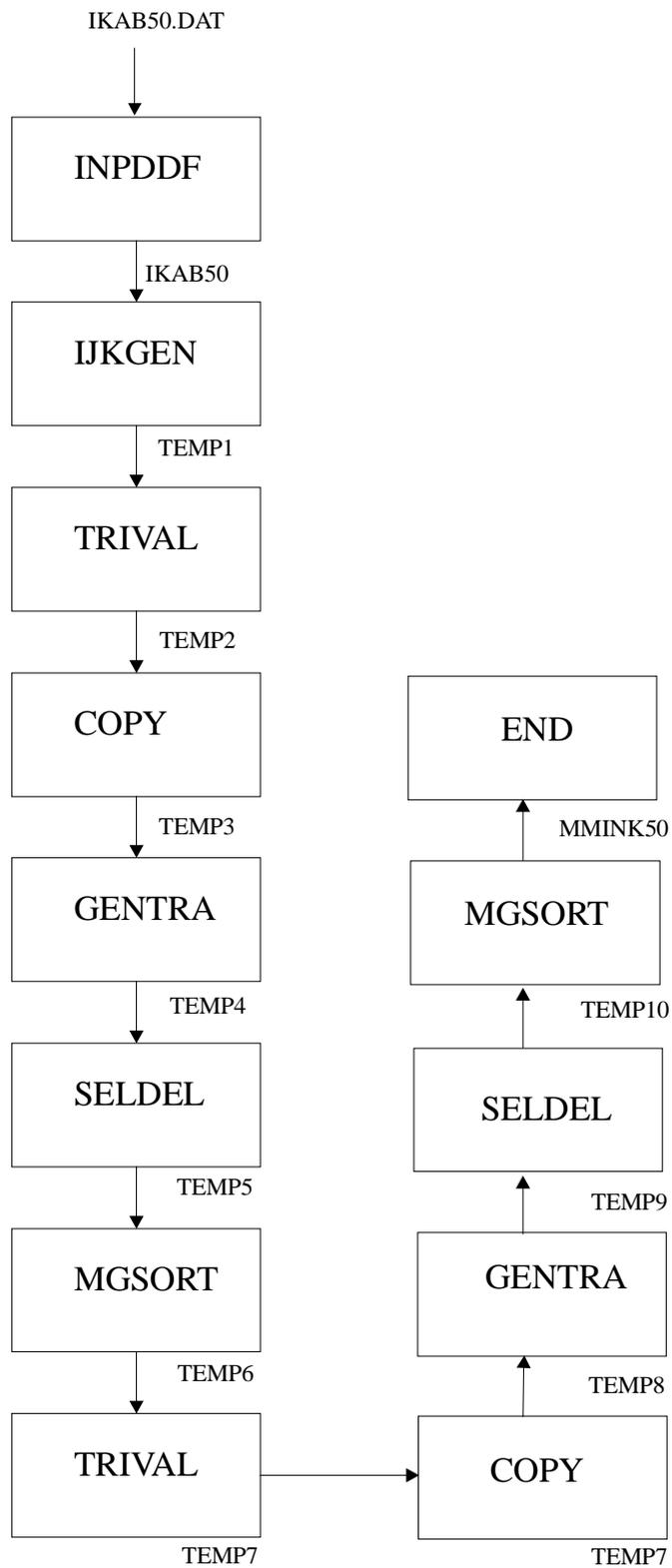
```

Macro para geração de modelo de blocos estéreis para dimensão de 25 x 25 x 1 m

```

!START IK25
0
0 -----
0  MODELO PARA A INDICATRIZ
0  -----
0
!INPDDF &OUT( IKAB25 ),@PRINT=0.0
IKAB25.DAT
!IJKGEN &PROTO( PROT25 ),&IN( IKAB25 ),&OUT( TEMP1 ), *X( X ), *Y( Y ),
      *Z( Z ),@PSMODEL=1.0
!TRIVAL &MODELI( TEMP1 ),&WIREPT( WMINETAP ),&WIRETR( WMINETA ),
      &RESULTS( RESTA ),&MODELO( TEMP2 ),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
      @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=3.0,
      @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN( TEMP2 ),&OUT( TEMP3 ),MINED>0.001
!GENTRA &IN( TEMP3 ),&OUT( TEMP4 ),@ECHO=0.0
THIS
MINEDIK1
MINED
END
Y
!SELDEL &IN( TEMP4 ),&OUT( TEMP5 ), *F1( MINED ),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN( TEMP5 ),&OUT( TEMP6 ), *KEY1( IJK ),@ORDER=1.0
!TRIVAL &MODELI( TEMP6 ),&WIREPT( WMINEBAP ),&WIRETR( WMINEBA ),
      &RESULTS( RESBA ),&MODELO( TEMP7 ),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
      @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=4.0,
      @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN( TEMP7 ),&OUT( TEMP8 ),MINED>0.001
!GENTRA &IN( TEMP8 ),&OUT( TEMP9 ),@ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDBA
MINED
THIS
IK
ESTIMATE
END
Y
!SELDEL
&IN( TEMP9 ),&OUT( TEMP10 ), *F1( MINED ), *F2( ESTIMATI ), *F3( ESTIMATE ),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN( TEMP10 ),&OUT( MMINIK25 ), *KEY1( IJK ),@ORDER=1.0
!END

```



**ANEXO 3**  
Parâmetros, macros DATAMINE e  
fluxuograma para geração do modelo  
final para a porção não minerada da jazida

Macro para geração do modelo final para a porção não minerada da jazida

```
!START TRIVAL
0
0 -----
0  MODELO PARA A TIPOLOGIA A
0  -----
0
!INPDDF  &OUT(OK50FRA),@PRINT=0.0
OK50FRA.DAT
!IJKGEN  &PROTO(PROT5),&IN(OK50FRA),&OUT(TEMP1),*X(X),*Y(Y),
        *Z(Z),@PSMODEL=1.0
!TRIVAL  &MODELI(TEMP1),&WIREPT(WMINETAP),&WIRETR(WMINETA),
        &RESULTS(RESCOB),&MODELO(TEMP2),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
        @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=3.0,
        @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY    &IN(TEMP2),&OUT(TEMP3),MINED>0.001
!GENTRA  &IN(TEMP3),&OUT(TEMP4),@ECHO=0.0
THIS
MINEDCOB
MINED
THIS
ESTIMA
ESTIMATE
SETC
BELCOB
1
END
Y
!SELDEL  &IN(TEMP4),&OUT(TEMP5),*F1(MINED),@KEEPALL=0.0
!MGSORT  &IN(TEMP5),&OUT(TEMP6),*KEY1(IJK),@ORDER=1.0
0
0
0
!TRIVAL  &MODELI(TEMP6),&WIREPT(WMINETBP),&WIRETR(WMINETB),
        &RESULTS(RESA),&MODELO(TEMP7),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
        @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=4.0,
        @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY    &IN(TEMP7),&OUT(TEMP8),MINED>0.001
!GENTRA  &IN(TEMP8),&OUT(TEMP9),@ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDA
MINED
SETC
ABOVEB
1
THIS
FRESTA
ESTIMATE
END
Y
!SELDEL  &IN(TEMP9),&OUT(TEMP10),*F1(MINED),@KEEPALL=0.0
!MGSORT  &IN(TEMP10),&OUT(TEMP11),*KEY1(IJK),@ORDER=1.0
!JOIN    &IN1(TEMP6),&IN2(TEMP11),&OUT(TEMP12),*KEY1(IJK),
        @SUBSETR=0.0,@SUBSETF=0.0,@CARTJOIN=0.0,@PRINT=0.0
!COPY    &IN(TEMP12),&OUT(TEMP13),BELCOB=1,ABOVEB=1
0
```

```
0 -----
0  TRANSFORMA OS DADOS DE FR DO SEPARADOR X1000 EM ALVURA PARA TIPOLOGIA A
0  -----
0
!GENTRA &IN(TEMP13),&OUT(MMIN50A),@ECHO=0.0
divc
A1
ESTIMATE
1000
MULC
ALVESTA
A1
2
MUL
A2
A1
A1
ADD
ALVESTA
A2
ALVESTA
SQRT
ALVESTA
ALVESTA
MULC
ALVESTA
ALVESTA
-1
ADD
ALVESTA
ALVESTA
A1
ADDC
ALVESTA
ALVESTA
1
MULC
ALVESTA
ALVESTA
100
END
Y
0
0 -----
0  MODELO PARA A TIPOLOGIA B
0  -----
0
!INPDDF &OUT(OK50FRB),@PRINT=0.0
OK50FRB.DAT
!IJKGEN &PROTO(PROT5),&IN(OK50FRB),&OUT(TEMPB1),*X(X),*Y(Y),
      *Z(Z),@PSMODEL=1.0
!TRIVAL &MODELI(TEMPB1),&WIREPT(WMINETBP),&WIRETR(WMINETB),
      &RESULTS(RESBB),&MODELO(TEMPB2),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
      @MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=3.0,
      @CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN(TEMPB2),&OUT(TEMPB3),MINED>0.001
!GENTRA &IN(TEMPB3),&OUT(TEMPB4),@ECHO=0.0
THIS
MINEDB
```

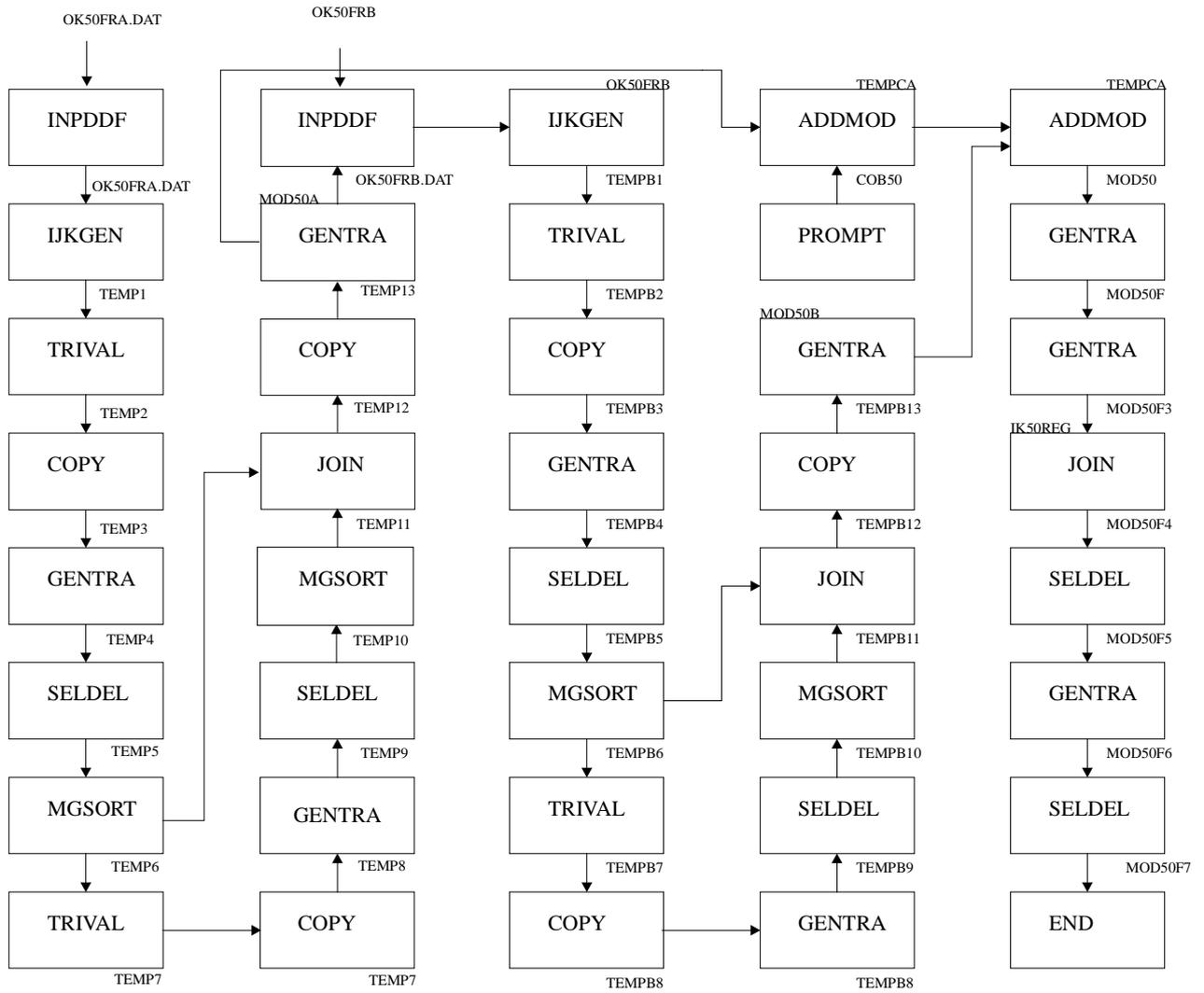
```
MINED
THIS
ESTIMB
ESTIMATE
SETC
BELLOWB
1
THIS
FRESTB
ESTIMATE
END
Y
!SELDEL &IN(TEMPB4),&OUT(TEMPB5),*F1(MINED),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN(TEMPB5),&OUT(TEMPB6),*KEY1(IJK),@ORDER=1.0
0
0
0
!TRIVAL &MODELI(TEMPB6),&WIREPT(WMINEBAP),&WIRETR(WMINEBA),
&RESULTS(RESBASB),&MODELO(TEMPB7),@DENSITY=2.67,@FULLCELL=0.0,
@MINE=1.0,@PLANE=1.0,@INCRMENT=1.0,@MODLTYPE=4.0,
@CHKOVLAP=1.0,@PRINT=0.0,@ECHO=0.0
Y
!COPY &IN(TEMPB7),&OUT(TEMPB8),MINED>0.001
!GENTRA &IN(TEMPB8),&OUT(TEMPB9),@ECHO=0.0
Y
THIS
MINEDBAS
MINED
SETC
ABOVEBAS
1
END
Y
!SELDEL &IN(TEMPB9),&OUT(TEMPB10),*F1(MINED),@KEEPALL=0.0
!MGSORT &IN(TEMPB10),&OUT(TEMPB11),*KEY1(IJK),@ORDER=1.0
!JOIN &IN1(TEMPB6),&IN2(TEMPB11),&OUT(TEMPB12),*KEY1(IJK),
@SUBSETR=0.0,@SUBSETF=0.0,@CARTJOIN=0.0,@PRINT=0.0
!COPY &IN(TEMPB12),&OUT(TEMPB13),BELLOWB=1,ABOVEBAS=1
0
0 -----
0 TRANSFORMA OS DADOS DE FR DO SEPARADOR X1000 EM ALVURA PARA TIPOLOGIA B
0 -----
0
!GENTRA &IN(TEMPB13),&OUT(MMIN50B),@ECHO=0.0
divc
A1
ESTIMATE
1000
MULC
ALVESTB
A1
2
MUL
A2
A1
A1
ADD
ALVESTB
A2
ALVESTB
```

```
SQRT
ALVESTB
ALVESTB
MULC
ALVESTB
ALVESTB
-1
ADD
ALVESTB
ALVESTB
A1
ADDC
ALVESTB
ALVESTB
1
MULC
ALVESTB
ALVESTB
100
END
Y
0
0 -----
0 ADICIONA MODELOS DE COBERTURA, TIPOA, TIPOB
0 -----
0
!1:PROMPT
0
1 MODELO DE COBERTURA PARA ADICAO [COBMIN50] > '$IN1#',A
0
1 MODELO DA TIPOLOGIA A PARA ADICAO [MMIN50A] > '$IN2#',A
0
1 MODELO DA TIPOLOGIA B PARA ADICAO [MMIN50B] > '$IN3#',A
0
1 MODELO FINAL DESTAS ADICOES [MMIN50] > '$OUT1#',A
0
!ADDMOD &IN1($IN1#),&IN2($IN2#),&OUT(TEMPCA),@TOLERNCE=0.001
!ADDMOD &IN1(TEMPCA),&IN2($IN3#),&OUT($OUT1#),@TOLERNCE=0.001
0
0 -----
0 TRANSFORMA OS DADOS DE FR DO SEPARADOR X1000 EM ALVURA PARA LEGENDA
0 -----
0
!GENTRA &IN($OUT1#),&OUT($OUT1#F),@ECHO=0.0
divc
A1
ESTIMATE
1000
MULC
ALVEST
A1
2
MUL
A2
A1
A1
ADD
ALVEST
A2
ALVEST
```

```
SQRT
ALVEST
ALVEST
MULC
ALVEST
ALVEST
-1
ADD
ALVEST
ALVEST
A1
ADDC
ALVEST
ALVEST
1
MULC
ALVEST
ALVEST
100
END
Y
0
0 -----
0 PADRONIZA A ALVEST PARA GERACAO DO MODELO FINAL
0 -----
0
!GENTRA &IN($OUT1#F),&OUT($OUT1#F3),@ECHO=0.0
EQC
ESTIMATE
-999
THIS
ALVEST
ESTIMATE
END
Y
!JOIN &IN1(MMINIK50),&IN2($OUT1#F3),&OUT($OUT1#F4),*KEY1(IJK),
      @SUBSETR=0.0,@SUBSETF=0.0,@CARTJOIN=0.0,@PRINT=0.0
!SELDEL &IN($OUT1#F4),&OUT($OUT1#F5),*F1(X0),*F2(FILLVOL),*F3(VOIDVOL),
      *F4(ESTIMATI),*F5(A1),*F6(A2),*F7(ESTIMA),*F8(ESTIMB),
      @KEEPALL=0.0
!GENTRA &IN($OUT1#F5),&OUT($OUT1#F6),@ECHO=0.0
MUL
A
FRESTA
MINEDA
MUL
B
FRESTD
MINEDB
ADD
AB
A
B
ADD
FRPOND
MINEDA
MINEDB
DIV
FRPOND
AB
```

```
FRPOND
DIVC
A1
FRPOND
1000
MULC
ALVPOND
A1
2
MUL
A2
A1
A1
ADD
ALVPOND
A2
ALVPOND
SQRT
ALVPOND
ALVPOND
MULC
ALVPOND
ALVPOND
-1
ADD
ALVPOND
ALVPOND
A1
ADDC
ALVPOND
ALVPOND
1
MULC
ALVPOND
ALVPOND
100
EQC
ALVPOND
-
THIS
ALVPOND
ALVEST
EQC
FRPOND
-
THIS
FRPOND
ESTIMATE
END
Y
!SELDEL &IN($OUT1#F6),&OUT(TEMPF),*F1(A),*F2(B),*F3(AB),
      *F4(A1),*F5(A2),@KEEPALL=0.0
!SELDEL &IN(TEMPF),&OUT($OUT1#F7),*F1(MINEDIK1),*F2(MINEDBA),*F3(ESTIMATE),
      *F4(MINEDAC),*F5(MINEDC),*F6(BELCOB),*F7(BELLOWB),*F8(ABOVEBAS)
      @KEEPALL=0.0

!END
```



# **ANEXO 4**

## **Parâmetros GSLIB2**

Arquivo de parâmetros para geração do modelo para o Tipo A para blocos de 25 x 25 x 1 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\bellowal.dat      \file with data
1  2  3    6    0        \  columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21  1.0e21         \  trimming limits
0                          \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                   \file with jackknife data
1  2  3    3    0        \  columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                          \debugging level: 0,1,2,3
kt3d.dbg                  \file for debugging output
ok25fra.out               \file for kriged output
50  345760 25.0           \nx,xmn,xsiz
43  900540 25.0           \ny,ymn,ysiz
100    80  1.0           \nz,zmn,zsiz
5   5    2                \x,y and z block discretization
3   15                    \min, max data for kriging
0                          \max per octant (0-> not used)
300.0 300.0 10.0         \maximum search radii
    0    0    0           \angles for search ellipsoid
1    2.302                \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0       \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                          \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat              \gridded file with drift/mean
4                          \  column number in gridded file
2    1.5                  \nst, nugget effect
1    10   0    0    0     \it,cc,ang1,ang2,ang3
    190  180   10        \a_hmax, a_hmin, a_vert
1    7.5   0    0    0     \it,cc,ang1,ang2,ang3
    330  315   12        \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

Arquivo de parâmetros para geração do modelo para o Tipo A para blocos de 50 x 50 x 5 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\bellowal.dat      \file with data
1  2  3  6  0            \  columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21  1.0e21          \  trimming limits
0                          \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                  \file with jackknife data
1  2  0  3  0            \  columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                          \debugging level: 0,1,2,3
kt3d.dbg                 \file for debugging output
ok50fra.out              \file for kriged output
25  345760 50.0          \nx,xmn,xsiz
22  900540 50.0          \ny,ymn,ysiz
20  80  5.0              \nz,zmn,zsiz
5  5  5                  \x,y and z block discretization
3  15                    \min, max data for kriging
0                          \max per octant (0-> not used)
330.0 330.0 12.0         \maximum search radii
0  0  0                    \angles for search ellipsoid
1  2.302                  \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0        \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                          \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat             \gridded file with drift/mean
4                          \ column number in gridded file
2  1.5                    \nst, nugget effect
1  10  0  0  0            \it,cc,ang1,ang2,ang3
190 180 10                \a_hmax, a_hmin, a_vert
1  7.5  0  0  0            \it,cc,ang1,ang2,ang3
330 315 12                \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

Arquivo de parâmetros para geração do modelo para o Tipo B para blocos de 50 x 50 x 5 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\bellowb1.dat      \file with data
1  2  3  6  0            \  columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21  1.0e21          \  trimming limits
0                          \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                  \file with jackknife data
1  2  0  3  0            \  columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                          \debugging level: 0,1,2,3
kt3d1.dbg                \file for debugging output
ok50frb.out              \file for kriged output
25  345760 50.0          \nx,xmn,xsiz
22  900540 50.0          \ny,ymn,ysiz
20  80  5.0              \nz,zmn,zsiz
5  5  5                  \x,y and z block discretization
3  15                    \min, max data for kriging
0                          \max per octant (0-> not used)
400.0 400.0 10.0         \maximum search radii
0  0  0                  \angles for search ellipsoid
1  2.302                 \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0       \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                          \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat             \gridded file with drift/mean
4                          \ column number in gridded file
2  1.0                   \nst, nugget effect
1  4.5  0  0  0          \it,cc,ang1,ang2,ang3
208 204 7.7              \a_hmax, a_hmin, a_vert
1  2.1  0  0  0          \it,cc,ang1,ang2,ang3
480 430 17               \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

Arquivo de parâmetros para geração do modelo para o Tipo B para blocos de 25 x 25 x 1 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\bellowb1.dat      \file with data
1  2  3  6  0            \  columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21  1.0e21          \  trimming limits
0                          \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                  \file with jackknife data
1  2  0  3  0            \  columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                          \debugging level: 0,1,2,3
kt3d1.dbg                \file for debugging output
ok25frb.out              \file for kriged output
50  345760 25.0          \nx,xmn,xsiz
43  900540 25.0          \ny,ymn,ysiz
100  80  1.0             \nz,zmn,zsiz
5  5  2                  \x,y and z block discretization
3  15                    \min, max data for kriging
0                          \max per octant (0-> not used)
400.0 400.0 10.0         \maximum search radii
0  0  0                  \angles for search ellipsoid
1  2.302                 \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0       \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                          \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat            \gridded file with drift/mean
4                          \  column number in gridded file
2  1.0                   \nst, nugget effect
1  4.5  0  0  0          \it,cc,ang1,ang2,ang3
    208  204  7.7        \a_hmax, a_hmin, a_vert
1  2.1  0  0  0          \it,cc,ang1,ang2,ang3
    480  430  17         \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

Arquivo de parâmetros para geração do modelo da indicatriz para blocos de 25 x 25 x 1 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\categab.dat      \file with data
1  2  3  4  0           \ columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21  1.0e21         \ trimming limits
0                        \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                 \file with jackknife data
1  2  0  3  0           \ columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                        \debugging level: 0,1,2,3
kt3d.dbg                \file for debugging output
ikab25.out              \file for kriged output
50  345760 25           \nx,xmn,xsiz
43  900540 25           \ny,ymn,ysiz
100  80  1              \nz,zmn,zsiz
5  5  2                 \x,y and z block discretization
2  15                   \min, max data for kriging
0                        \max per octant (0-> not used)
250.0 250.0 4.0         \maximum search radii
0  0  0                 \angles for search ellipsoid
1  2.302                \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0      \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                        \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat           \gridded file with drift/mean
4                        \ column number in gridded file
2  0.031                \nst, nugget effect
1  0.04 0  0  0         \it,cc,ang1,ang2,ang3
48 43.8 2.4            \a_hmax, a_hmin, a_vert
1  0.028 0  0  0       \it,cc,ang1,ang2,ang3
289 225 4.8           \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

Arquivo de parâmetros para geração do modelo da indicatriz para blocos de 50 x 50 x 5 m.

```

Parameters for KT3D
*****

START OF PARAMETERS:
..\data\categab.dat      \file with data
1 2 3 4 0              \ columns for X, Y, Z, var, sec var
-1.0e21 1.0e21         \ trimming limits
0                       \option: 0=grid, 1=cross, 2=jackknife
xvk.dat                \file with jackknife data
1 2 0 3 0              \ columns for X,Y,Z,vr and sec var
1                       \debugging level: 0,1,2,3
kt3d.dbg               \file for debugging output
ikab50.out             \file for kriged output
25 345760 50           \nx,xmn,xsiz
22 900540 50           \ny,yrn,ysiz
20 80 5                \nz,zrn,zsiz
5 5 5                  \x,y and z block discretization
2 15                   \min, max data for kriging
0                       \max per octant (0-> not used)
250.0 250.0 4.0        \maximum search radii
0 0 0                  \angles for search ellipsoid
1 2.302                \0=SK,1=OK,2=non-st SK,3=exdrift
0 0 0 0 0 0 0 0 0      \drift: x,y,z,xx,yy,zz,xy,xz,zy
0                       \0, variable; 1, estimate trend
extdrift.dat           \gridded file with drift/mean
4                       \ column number in gridded file
2 0.031                \nst, nugget effect
1 0.04 0 0 0           \it,cc,ang1,ang2,ang3
48 43.8 2.4           \a_hmax, a_hmin, a_vert
1 0.028 0 0 0         \it,cc,ang1,ang2,ang3
289 225 4.8           \a_hmax, a_hmin, a_vert

```

**ANEXO 5**  
Gráficos de tonelagens  
para as bancadas modeladas

CutoffALV	CutoffFR	TON50P1B1	TON25P1B1	TON50 - TON25
82.0	19.75610	467834.03	463924.36	3909.67
83.0	17.40964	463114.47	450523.40	12591.07
84.0	15.23810	459524.15	436440.31	23083.85
85.0	13.23529	438286.07	415736.32	22549.75
86.0	11.39535	399243.16	381107.61	18135.55
86.5	10.53468	386260.99	351715.82	34545.17
87.0	9.71264	328151.18	280470.28	47680.90
87.5	8.92857	203556.80	164132.95	39423.84
88.0	8.18182	0.00	46178.61	-46178.61
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P1B3	TON25P1B3	TON50 - TON25
82.0	19.75610	564657.64	564463.30	194.34
83.0	17.40964	564657.64	563978.57	679.07
84.0	15.23810	564657.64	563325.32	1332.32
85.0	13.23529	547691.76	547544.11	147.65
86.0	11.39535	501267.74	524388.61	-23120.87
86.5	10.53468	474174.95	494403.25	-20228.30
87.0	9.71264	399119.58	456084.25	-56964.67
87.5	8.92857	268685.90	326508.77	-57822.86
88.0	8.18182	93403.81	85524.34	7879.47
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P2B1	TON25P2B1	TON50 - TON25
82.0	19.75610	460817.07	460800.78	16.29
83.0	17.40964	459490.81	457209.69	2281.12
84.0	15.23810	452196.41	446785.79	5410.61
85.0	13.23529	449620.59	426716.34	22904.25
86.0	11.39535	405393.48	392748.89	12644.59
86.5	10.53468	388994.24	368858.50	20135.73
87.0	9.71264	362549.62	312186.45	50363.17
87.5	8.92857	194135.93	167920.71	26215.22
88.0	8.18182	8711.54	45635.91	-36924.36
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P1B2	TON25P1B2	TON50 - TON25
82.0	19.75610	393098.99	393129.19	-30.20
83.0	17.40964	393098.99	393129.19	-30.20
84.0	15.23810	393098.99	393129.19	-30.20
85.0	13.23529	393098.99	392188.98	910.02
86.0	11.39535	393098.99	391352.82	1746.17
86.5	10.53468	385747.72	388183.54	-2435.83
87.0	9.71264	373514.11	371636.86	1877.25
87.5	8.92857	343536.68	319701.30	23835.38
88.0	8.18182	231081.26	187840.61	43240.64
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P2B2	TON25P2B2	TON50 - TON25
82.0	19.75610	398789.20	400699.53	-1910.33
83.0	17.40964	398789.20	400088.37	-1299.17
84.0	15.23810	398789.20	399466.39	-677.20
85.0	13.23529	388062.57	393784.93	-5722.36
86.0	11.39535	388062.57	393777.98	-5715.41
86.5	10.53468	377169.04	383952.37	-6783.33
87.0	9.71264	369179.67	362502.97	6676.70
87.5	8.92857	337764.91	306481.15	31283.77
88.0	8.18182	221972.19	216591.09	5381.09
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P2B3	TON25P2B3	TON50 - TON25
82.0	19.75610	577663.98	578623.79	-959.81
83.0	17.40964	575267.79	572608.63	2659.16
84.0	15.23810	575267.79	569674.77	5593.01
85.0	13.23529	546577.00	549762.59	-3185.59
86.0	11.39535	496798.39	527578.06	-30779.67
86.5	10.53468	448833.37	512178.70	-63345.32
87.0	9.71264	352396.95	450005.50	-97608.55
87.5	8.92857	222836.53	260708.62	-37872.09
88.0	8.18182	26335.18	69538.49	-43203.31
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P3B1	TON25P3B1	TON50 - TON25
82.0	19.75610	467890.80	467844.92	45.88
83.0	17.40964	467890.80	467057.83	832.97
84.0	15.23810	466905.47	459092.01	7813.46
85.0	13.23529	434180.65	427965.81	6214.84
86.0	11.39535	406197.51	379830.33	26367.18
86.5	10.53468	398609.24	356294.56	42314.68
87.0	9.71264	348162.53	314571.27	33591.26
87.5	8.92857	219162.34	208216.40	10945.94
88.0	8.18182	52930.15	79807.35	-26877.21
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P3B2	TON25P3B2	TON50 - TON25
82.0	19.75610	414327.06	423772.17	-9445.10
83.0	17.40964	414327.06	422027.66	-7700.60
84.0	15.23810	414074.61	417548.29	-3473.68
85.0	13.23529	404776.24	413318.87	-8542.63
86.0	11.39535	404232.69	408880.07	-4647.38
86.5	10.53468	389047.84	406114.49	-17066.65
87.0	9.71264	382103.33	379320.86	2782.47
87.5	8.92857	348606.08	329866.90	18739.18
88.0	8.18182	258367.72	250331.07	8036.65
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

CutoffALV	CutoffFR	TON50P3B3	TON25P3B3	TON50 -TON25
82.0	19.75610	601045.90	606318.92	-5273.02
83.0	17.40964	584807.20	596351.78	-11544.58
84.0	15.23810	584691.72	592291.34	-7599.62
85.0	13.23529	558843.42	574191.03	-15347.62
86.0	11.39535	494237.06	545008.63	-50771.57
86.5	10.53468	460465.06	521538.13	-61073.06
87.0	9.71264	382136.51	452071.15	-69934.64
87.5	8.92857	197128.94	275214.94	-78086.00
88.0	8.18182	60541.95	89747.08	-29205.13
89.0	6.79775	0.00	0.00	0.00

**ANEXO 6**  
Rotinas C<sup>++</sup>

**datamine2gslib** - Rotina para transformação de arquivos de saída DATAMINE (OUTPUT) em arquivos formato GSLIB

```

*****
Créditos: Armando Borges Valim
Colaboração: Rodrigo de Lemos Peroni
*****

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

static char msgane[]="Erro: Arquivo %s nao encontrado\n";
static char msgain[]="Erro: Arquivo %s invalido\n";

void pulalinha(FILE *arquivo);

int main()
{
    int    i,ii,num;
    double valor;
    FILE*  fp1;
    FILE*  fp2;
    char   titulo[80];
    char   teste[10];
    char   titulo1[80];
    char   titulo2[80];
    printf(" Geoeas: ");
    scanf("%s",titulo1);

    printf("\n Datamine: ");
    scanf("%s",titulo2);

    fp1=fopen(titulo1,"r");
    fp2=fopen(titulo2,"w");

    if(fp1==NULL){ printf(msgane,titulo1); return 0; }
    if(fscanf(fp1,"%s",titulo)!=1) { printf("titulo=%s\n",titulo);
    printf(msgain,titulo1); fclose(fp1); return 0; }
    pulalinha(fp1);
    fprintf(fp2,"% -8s\n",titulo2);
    fprintf(fp2,"%s\n",titulo);
    if(fscanf(fp1,"%d",&num )!=1) { printf("num=%d\n",num);
    printf(msgain,titulo1); fclose(fp1); return 0; }
    fprintf(fp2,"% 8.0d% 8.0d\n",num,num);
    for(i=0;i<num;i++)
    {
    if(fscanf(fp1,"%s",titulo)!=1) { printf("var=%s\n",titulo);
    printf(msgain,titulo1); fclose(fp1); return 0; }
    pulalinha(fp1);
        for(ii=0;ii<8;ii++)
        {
            if(titulo[ii]>='a') teste[ii]=titulo[ii]-' ';
            else teste[ii]=titulo[ii];
        }
        teste[ii]='\0';
        fprintf(fp2,"%-8s N   1   % 1d           0.000000E+00\n",teste,i+1);
    }
}

```

```
i=0;
while(1)
{
    if(fscanf(fp1,"%lE",&valor )!=1) { break; }
    else
    {
        fprintf(fp2,"% 12g",valor);
        i++;
        if(i>=num) { i=0; fprintf(fp2,"\n"); }
    }
}
fclose(fp1);
fclose(fp2);
return 1;
}
```

```
void pulalinha(FILE *arquivo)
{
    int i;
    while(1)
    {
        i = fgetc( arquivo );
        if((i==10)) break;
    }
}
```

**gslib2datamine** - Rotina para adição de coordenadas ao arquivo de saída GSLIB e transformação para formato de entrada DATAMINE (INPDDF)

```

*****
Créditos: Armando Borges Valim
Colaboração: Rodrigo de Lemos Peroni
*****

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

static char msgane[]="Erro: Arquivo %s nao encontrado\n";
static char msgain[]="Erro: Arquivo %s invalido\n";

void pulalinha(FILE *arquivo);

int main()
{
    int    i,ii,num,i1,i2,i3,i4;
    double valor;
    FILE*  fp1;
    FILE*  fp2;
    char  teste[10];
    char  titulo[80];
    char  titulo1[80];
    char  titulo2[80];

    double    x0,y0,z0;
    double    xinc,yinc,zinc;
    double    nx,ny,nz;

    printf(" kt3d: "); scanf("%s",titulo1);
    printf("\n Datamine: "); scanf("%s",titulo2);

    printf("\n x0: "); scanf("%le",&x0);
    printf(" y0: "); scanf("%le",&y0);
    printf(" z0: "); scanf("%le",&z0);

    printf("\n xinc: "); scanf("%le",&xinc);
    printf(" yinc: "); scanf("%le",&yinc);
    printf(" zinc: "); scanf("%le",&zinc);

    printf("\n nx: "); scanf("%le",&nx);
    printf(" ny: "); scanf("%le",&ny);
    printf(" nz: "); scanf("%le",&nz);

    fp1=fopen(titulo1,"r");
    fp2=fopen(titulo2,"w");

    if(fp1==NULL){ printf(msgane,titulo1); return 0; }
    if(fscanf(fp1,"%s",titulo)!=1) { printf("titulo=%s\n",titulo);
    printf(msgain,titulo1); fclose(fp1); return 0; }
    pulalinha(fp1);
    fprintf(fp2,"%-8s\n",titulo2);
    fprintf(fp2,"%s\n",titulo);

```

```

if(fscanf(fp1,"%d",&num )!=1) { printf("num=%d\n",num);
printf(msgain,titulol); fclose(fp1); return 0; }
fprintf(fp2,"% 8.0d% 8.0d\n",num+3,num+3);

fprintf(fp2,"X      N   1   % 1d          0.000000E+00\n",1);
fprintf(fp2,"Y      N   1   % 1d          0.000000E+00\n",2);
fprintf(fp2,"Z      N   1   % 1d          0.000000E+00\n",3);

for(i=0;i<num;i++)
{
if(fscanf(fp1,"%s",titulo)!=1)      { printf("var=%s\n",titulo);
printf(msgain,titulol); fclose(fp1); return 0; }
pulalinha(fp1);
    for(ii=0;ii<8;ii++)
    {
        if(titulo[ii]>='a') teste[ii]=titulo[ii]-' ';
        else teste[ii]=titulo[ii];
    }
    teste[ii]='\0';
    fprintf(fp2,"%-8s N   1   % 1d          0.000000E+00\n",teste,i+4);
}

x0=x0+xinc/2;
y0=y0+yinc/2;
z0=z0+zinc/2;

for(i3=0;i3<nz;i3++)
{
    for(i2=0;i2<ny;i2++)
    {
        for(i1=0;i1<nx;i1++)
        {

            fprintf(fp2,"% 12.3f",x0+xinc*(double)i1);
            fprintf(fp2,"% 12.3f",y0+yinc*(double)i2);
            fprintf(fp2,"% 12.3f",z0+zinc*(double)i3);

            for(i4=0;i4<num;i4++)
            {

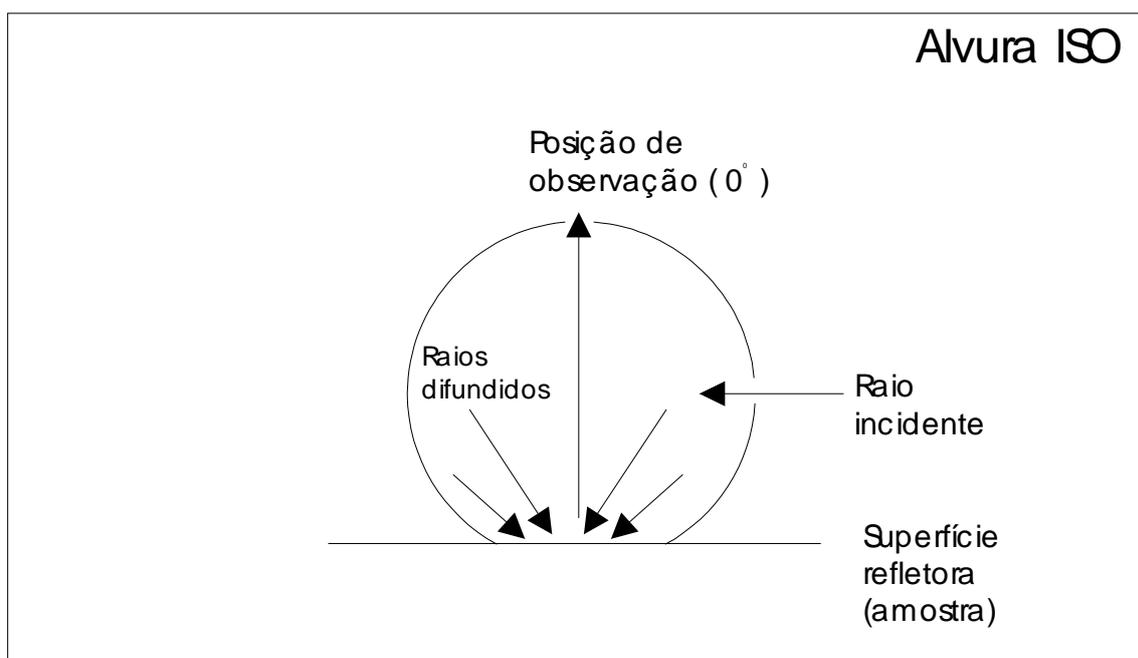
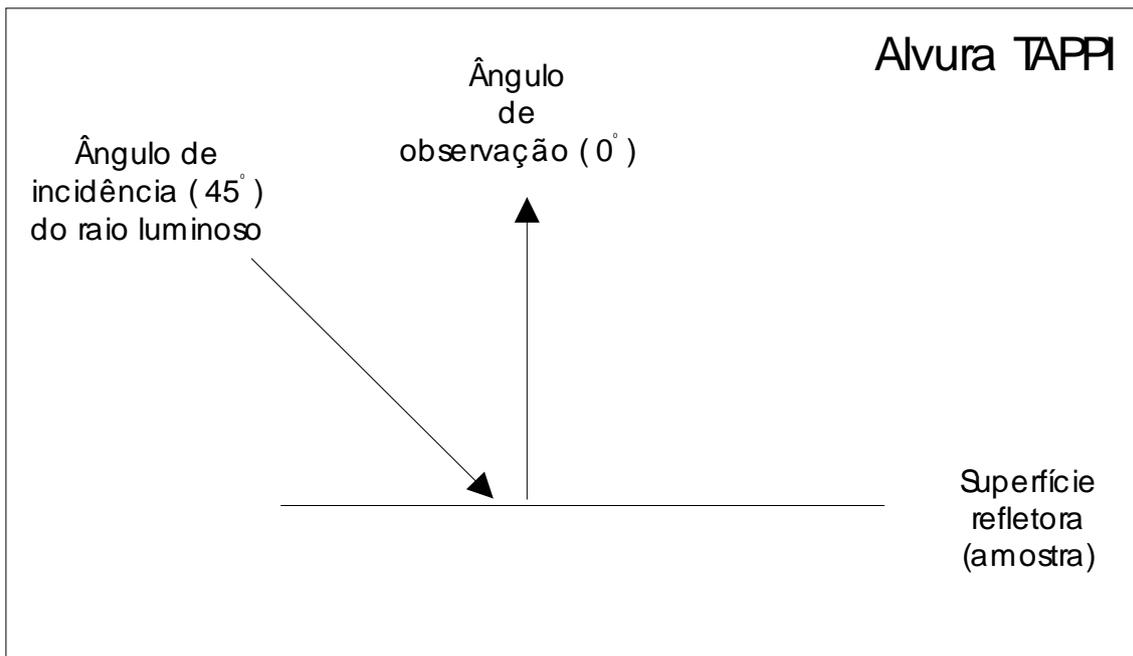
                if(fscanf(fp1,"%lE",&valor )!=1) {
printf("ERRO,ERRO,ERRO!!!"); }
                else
                {
                    fprintf(fp2,"% 12.3f",valor);
                }
            }
            fprintf(fp2,"\n");
        }
    }
}
fclose(fp1);
fclose(fp2);
return 1;
}

void pulalinha(FILE *arquivo)
{

```

```
int i;  
while(1)  
{  
    i = fgetc( arquivo );  
    if((i==10)) break;  
}  
  
}
```

**ANEXO 7**  
Alvura - Geometrias de medição



A bibliografia especializada cita que, em termos gerais, a alvura TAPPI apresenta um ganho de alvura de 1 a 2% em relação à alvura ISO, devido à diferenças na geometria de medição.