

MARIA LÚCIA DE OLIVEIRA

ANÁLISE DO TEOR DE CORTE NA
MINA DE COBRE DO SOSSEGO - PA

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Campina Grande, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas

Campina Grande – PB
2005

MARIA LÚCIA DE OLIVEIRA



ANÁLISE DO TEOR DE CORTE NA
MINA DE COBRE DO SOSSEGO - PA

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Campina Grande, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas

Área de Concentração:
Planejamento de Lavra

Orientador:
Prof. Dr. Arlindo José Bazante

Campina Grande – PB
2005



FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Maria Lúcia

Análise do Teor de Corte na Mina de Cobre do Sossego - PA.
Campina Grande 2005.

79p.

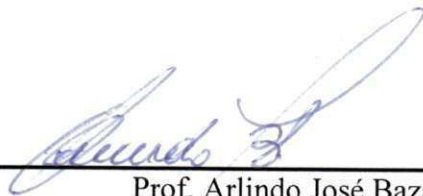
Dissertação – Universidade Federal de Campina Grande.

Departamento Mineração e Geologia.

1. Engenharia de minas 2. Planejamento de Lavra

I. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e
Tecnologia. Departamento Mineração e Geologia

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM 29 DE AGOSTO DE 2005 PELA
BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELOS PROFESSORES:



Prof. Arlindo José Bazante, Ph.D
Orientador



Prof. Eduardo Jorge Lira Bonates, Ph. D.
1º. Examinador



Prof. Antônio Costa Filho, M.Sc.
2º. Examinador



*Dedico a Alessandro Lima e
Ana Beatriz; fonte de
estimulo e dedicação para
conquista dos meus sonhos.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

AGRADECIMENTOS i

RESUMO ii

“ABSTRACT” iii

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Justificativas 3

1.2 Objetivos 6

1.2.1 Objetivo Geral 6

1.2.2 Objetivos Específicos 6

2. REVISÃO DA LITERATURA 7

2.1 Otimização de cava 7

2.1.1 Métodos Computacionais e Híbrido 7

2.1.2 Algoritmos de otimização 8

2.1.2.1 Algoritmos de Lerchs & Grossman 9

2.1.2.1.1 Método de Lerchs & Grossman bidimensional (2D) 10

2.1.2.1.2 Método de Lerchs & Grossman tridimensional (3D) 11

2.2 Teor de Corte 12

2.2.1 Fatores que determinam o teor de corte 15

2.2.1.1 O preço do minério 15

2.2.1.1.1 Fatores que determinam o preço	15
2.2.1.2 Custos	15
2.2.1.3 Custo de capital e operacional	16
2.2.1.4 Produção	16
2.2.1.4.1 Modelo estático para determinar a produção	18
2.2.1.5 Cálculo do teor de corte	21
2.2.1.5.1 O método de Lasky	22
2.2.1.5.2 O método de Lane	22
2.2.1.5.3 Cálculo do teor em função do custo de produção	24
3. ESTUDO DE CASO	28
3.1 Projeto Sossego	28
3.2 Localização	28
3.3 Geologia	29
3.3.1 Geologia Regional da Província Mineral de Carajás	29
3.3.2 Geologia Local	33
3.4 Método de lavra	35
3.5 Equipamentos	35
3.6 Escala de produção	36
3.7 Pilhas de estoque	36
3.8 Otimização e Operacionalização de Cavas	36
3.8.1 Metodologia	36
3.8.2 Histórico	37
3.8.3 Modelo de blocos dos recursos de minério	38
3.8.3.1 Dimensão do modelo e parâmetros	38
3.8.3.2 Atualização dos recursos geológicos	38
3.8.4 Parâmetros de Otimização	43
3.8.4.1 Geotecnia	43
3.8.4.2 Preços de Venda	45
3.8.4.3 Custos Unitários Atualizados	45
3.8.4.4 Custos da mina	45

3.8.4.5 Custos do Processo	46
3.8.4.5.1 Flotação	46
3.8.4.5.2 Lixiviação	46
3.8.4.6 Custos de Transporte de Concentrado	47
3.8.4.7 Custos de Fundição	48
3.8.4.8 Custos de G&A e Meio Ambiente	48
3.8.5 Reservas Lavráveis – Otimização 2004	48
3.8.6 Determinação da Envolvente Final	54
3.8.6.1 Sulfetos medidos e indicados– Série Cava Descontada	56
3.8.6.2 Sulfetos medidos e indicados – Série Clássica	62
3.8.6.3 Sulfetos e Óxidos medidos e indicados – Série Clássica	64
3.8.6.4 Sulfetos e Oxidos medidos e indicados e Sulfetos Inferidos	66
4. ESTUDO DE CUT-OFF	67
4.1 Histórico	67
4.2 Estratégia de Teor de Corte (Cut-Off)	68
5. CONCLUSÃO	78
LISTA DE REFERÊNCIAS	80

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Variação típicas das reservas lavráveis e da relação estéril/minério em função do teor de corte
- Figura 2.1 – Modelo de Massé
- Figura 2.2 – Custo de lavra
- Figura 2.3 – Custo de beneficiamento
- Figura 2.4 - Custo de mineração
- Figura 3.1 – Localização do Complexo Sossego
- Figura 3.2 – Geologia Regional de Carajás
- Figura 3.3 – Localização dos principais depósitos de cobre na Província de Carajás
- Figura 3.4. Evolução das Reservas de Sulfetos – medidos e indicados
- Figura 3.5 – Ângulos de taludes do Complexo Sossego
- Figura 3.6 – Planta cava do Sequeirinho – nível 152
- Figura 3.7 – Planta cava do Sossego – nível 168
- Figura 3.8 – Planta cava Setor Pista – nível 136
- Figura 3.9 – Seção Vertical cava Sequeirinho
- Figura 3.10 - Planta cava Pista – nível 136
- Figura 3.11 – Seção Vertical cava Pista
- Figura 3.12 – Planta Cava do Sossego – nível 168
- Figura 3.13 – Seção Vertical - Cava do Sossego
- Figura 4.1 - Situação prevista para o final de 2005 – cava do Sequeirinho
- Figura 4.2 - Situação prevista para o final de 2005 – cava do Sossego
- Figura 4.3 - NPV acumulado

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3. 1 - Ângulos de taludes para classe de maciço I-II – Cava Sequeirinho
- Tabela 3. 2 - Ângulos de taludes para classe de maciço I-II – Cava Sequeirinho
- Tabela 3.3 - Otimização dos resultados da Cava Teste - Sulfetos e Óxidos medidos e indicados .
- Tabela 3.4 - Otimização dos resultados da Cava Descontada - Sulfetos medidos e indicados
- Tabela 3.5 - Otimização dos resultados - Sulfetos medidos e indicados
- Tabela 3.6 - Otimização dos resultados - Sulfetos & Óxidos medidos e indicados
- Tabela 3.7 - Sulfetos & Óxidos - medidos, indicados e Sulfetos inferidos
- Tabela 4.1 - Perfil Variável Final para o Programa de Lavra – Viabilidade
- Tabela 4.2 - Perfil Variável Final para o Programa de Lavra –Análise dos primeiros cinco anos
- Tabela 4.3 - Plano de Produção - teor de corte marginal
- Tabela 4.4 - Plano de produção - teor de corte definido no estudo de viabilidade
- Tabela 4.5 - Plano de produção - análise dos primeiros cinco anos
- Tabela 4.6 - Plano de produção - teor de corte da otimização do sistema
- Tabela 4.7 - Plano de produção - teor de corte variável

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

η	– Rendimento do Processo	(%)
$\sum C$	– Soma de todos os custos de mineração e metalurgia	(\$)
B	– Benefício Econômico	(\$)
Co	– Custo de Oportunidade	(\$)
Cu	– Custo de Produção	(\$)
CuEq	– Cobre Equivalente	(%)
CVRD	– Companhia Vale do Rio Doce	
Cut-Off	– Teor de Corte	(%)
dV/dt	– Variação do VPL com o tempo	
Ep	– Escala de Produção	(t)
ETR	– Elementos terras raras	
EUA	– Estados Unidos da América	
Fc	– Fluxo de Caixa	
FFB	– Formações Ferríferas Bandadas	
G&A	– Custo: meio ambiente e administrativo	(\$)
i	– Taxa de juros	(%)
i	– Investimento por tonelada de extração anual	(\$)
MCAF	– Mining Costs Adjustment Factor	
MSS	– Mineração Serra do Sossego	
NPV	– New Present Value	
OECD	– Organisation for Economic Co-operation and Development	
P*	– Valor atual máximo	(\$)
Pit	– Cava	
pt	– Período de tempo	(ano)
Pu	– Preço de Venda	(t)
“ <i>pré stripping</i> ”	– Decapeamento	
Ra	– Receita Anual	(\$)
Rl	– Reserva Lavrável	(t)
“ <i>rump up</i> ”	– Curva de evolução	
s.n.m	– Sobre o nível do mar	
SxEw	– Rota Hidrometalúrgica	
Tc	– Teor de Corte	(%)
To	– Teor de corte ótimo	(%)
TTG	– Tonalito-trondhjemito-granodiorito	
UTM	– <i>Universal Transverse Mercator</i>	
VPL	– Valor Presente Líquido	(\$)

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Arlindo José Bazante, pela orientação, incentivo e apoio que contribuíram para conclusão deste trabalho.

A Carmelo, pelo apoio, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos Amigos do Trabalho, em especial: Alexandre Ditlef, Geisa Pastor, Lucinei Quirino, Rafael Ajub e Wendell Rodrigues pelo estímulo e colaboração na elaboração desta dissertação.

Aos Colegas: Fernando Bispo, Gildácio, Marisa e Robson pelos bons e maus momentos que tivemos durante a vida acadêmica que certamente contribuíram para sermos os profissionais e Homens que hoje somos.

Ao gerente da área de planejamento de longo prazo (DIOC-CVRD), Dr. Juarez Morais, pela presteza e auxílio nas análises e ajustes na fase de conclusão desta dissertação.

Aos meus familiares que sempre acreditaram e incentivaram-me na busca pela realização pessoal e profissional, e em particular deste sonho.

RESUMO

O teor de corte é um parâmetro básico para definição econômica da mina. É a massa de minério capaz de pagar às operações de lavra, processamento e comercialização. O propósito deste trabalho foi desenvolver um seqüenciamento ótimo de lavra para os próximos cinco anos da mina de cobre do Sossego. Para atingir tal objetivo, foi necessário fazer um levantamento dos parâmetros de otimização para definição do limite final de cava, definição do perfil variável do teor de corte e quantificar o impacto da análise do teor de corte no ritmo anual de movimentação total. Foram utilizados recursos, tais como, os softwares: “Gemcom”, para manipulação do modelo de recursos, “Whittle” para definição de limite final de cava e “Lane” para otimização e simulação do teor de corte. Concluiu-se que o melhor seqüenciamento de lavra é aquele cujo teor de corte é variável com os anos. Este estudo contribuiu para sinalizar um aumento no teor de corte e do NPV para mina de cobre do Sossego.

“ABSTRACT”

Cut-Off quality is the basic parameter for mining economic definition. It is the ore substance which is capable of paying the plowings operations, its process and commercialization. Hence, this paper aimed at developing a series of very good plows for the coming next five years of the copper mine at *Sossego*. In order to achieve such a task, it was necessary to make a survey of the optimization parameters to define the armhole and the cutting quality variable profile, as well as to quantify the cutting quality analysis impact in the total movement annual rhythm. Two softwares have been used such as: “Gemcom®” and “Whittle®”. The former was used for resources model manipulation, whereas the latter was used to define the final limits of the digs and the Lane algorithm so as to serve as a simulation and optimization for the cutting quality. It was then concluded that the best sequencing of plows is the one whose quality varies within the years. This study is thus a contribution to signal the increase in both the

1 . INTRODUÇÃO

O planejamento de longo prazo consiste na concepção e análise de cenários futuros para um empreendimento, seguido do estabelecimento de caminhos e objetivos, culminando com a definição de ações que possibilitem alcançar tais objetivos e metas para o empreendimento.

Os limites econômicos da cava dependem do fluxo de caixa e, portanto, pode ser necessário considerar outros limites, distintos daqueles inicialmente estimados para incluir o fluxo de caixa na determinação do contorno ótimo do depósito.

Diante das mudanças econômicas, alteração no ambiente sócio-econômico e atualização dos recursos minerais, faz-se necessário, revisar anualmente o planejamento de longo prazo, visto que estes itens podem afetar o lucro no empreendimento.

A determinação das seqüências ótimas de teores de corte e ritmos de produção é de fundamental relevância para um projeto de uma mina.

O conceito de teor de corte é de grande importância no estabelecimento das reservas de uma jazida, conforme ilustra a Fig. 1.1. À medida que aumenta o teor de corte diminui a quantidade disponível de minério, crescendo proporcionalmente a quantidade de estéril a ser removida, ou em outras palavras a relação estéril/minério.

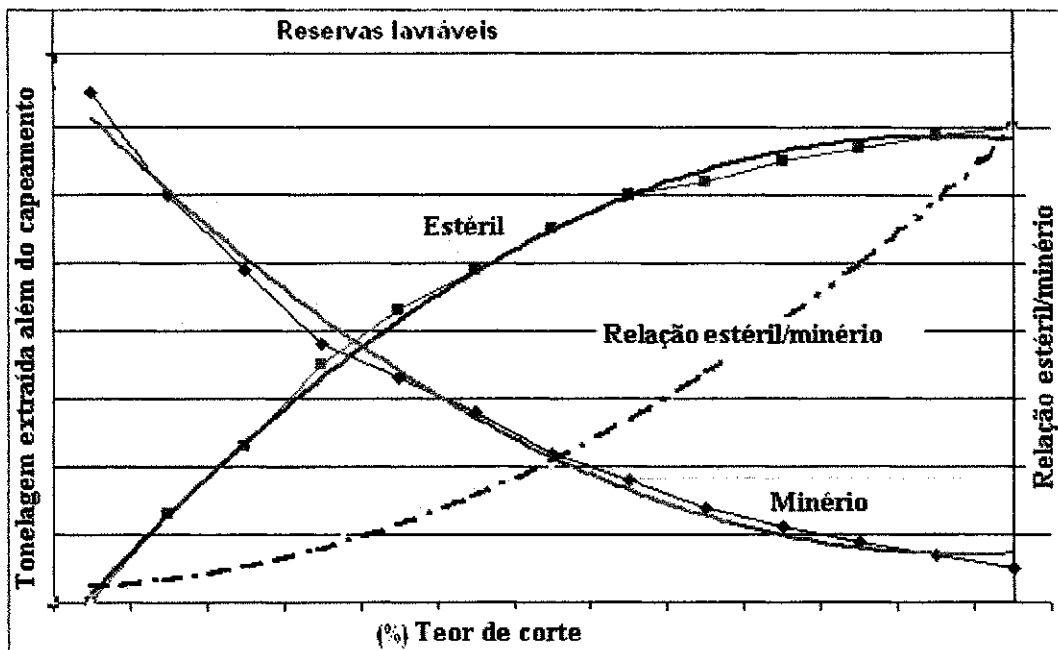


Figura I.1 – Variação típicas das reservas lavráveis e da relação estéril/minério em função do teor de corte (Bazante, 2005).

O teor de corte corresponde a menor proporção, em um todo, de uma determinada substância que pode ter um corpo mineral para ser extraído com benefício econômico, e delimita o que é minério e o que é estéril, dando destino diferentes aos mesmos. Para determiná-lo, existem vários métodos, porém, o que todos têm em comum é considerar os aspectos econômicos da lavra. Por isso, é necessário fazer uma estimativa do preço de venda do bem mineral e dos custos dos processos de lavra e beneficiamento, de forma mais detalhada possível. Estéril e minério são distinguidos pelo seu teor médio em comparação com o teor de corte fixado.

A maior parte dos negócios de mineração ocorre dentro da economia de mercado e os preços são regidos por fatores de oferta e demanda. Os meios modernos de transporte fazem com que muitas substâncias tenham um mercado mundial, de modo que mudanças no câmbio em um determinado país afetam os restantes. (Bazante, 2005).

As empresas de mineração que venham a se sair bem nas próximas décadas serão aquelas que conseguirem reduzir seus custos operacionais continuamente. A mineração continuará sendo um mercado de “*commodities*”, onde a chave do sucesso é extrair o seu produto a um custo por tonelada menor que seu concorrente.

Um programa de produção de uma mina pode ser definido para especificar a seqüência na qual devem ser removidos os blocos com o objetivo de maximizar o lucro total descontado da mina, sujeito a uma variedade de restrições físicas e econômicas.

1.1 Justificativas

O consumo de cobre pode ser dividido em três principais grupos; fios, cabos e tubos, produtos em cobre e produtos em liga de cobre. A aplicação mais importante consiste na produção de fios cabos e tubos, que atingiu 65% do consumo de cobre no mundo ocidental em 2003, dividida em fiação elétrica, para telecomunicações, de enrolamento de motores elétricos e tubulação para construção civil.

Em geral, fios, cabos, tubos e outros produtos de cobre são utilizados principalmente nos setores de construção civil (37%), equipamentos eletro-eletrônicos (26%), equipamentos e máquinas industriais (15%), transportes (11%) e outros produtos em geral.

Na construção civil, o cobre é utilizado principalmente nas fiações elétrica e de telecomunicação, nas tubulações para água (principalmente nos países com inverno rigoroso) e em aparelhos de ar condicionado.

Nos produtos elétricos e eletrônicos, o cobre é aplicado também na forma de cabos para telecomunicação e energia elétrica, nos transformadores elétricos, nos semicondutores e nos motores. Fiação, cabos e produtos semimanufaturados de cobre (placas, chapas) são também largamente utilizados nos equipamentos e máquinas industriais.

As ligas de cobre com outros metais são largamente utilizadas em equipamentos de transporte, como veículos, aeronaves, navios. A utilização em produtos gerais inclui moedas e outras aplicações elétricas e militares.

São dois os tipos de minério de cobre hoje aproveitados pela indústria, os minérios oxidados (resultado da oxidação de sulfetos de cobre por processo intempérico) e os minérios sulfetados.

Em função do tipo de minério são duas as rotas largamente utilizadas pela indústria para a produção de cobre:

- ✓ A produção de concentrado para posteriormente tratá-lo pelo processo pirometalúrgico e refino (rota pirometalúrgica)
- ✓ A produção de catodo de cobre pelo método de extração por solvente-SxEw (rota hidrometalúrgica)

Os setores que utilizam os produtos de cobre estão se recuperando. O crescimento da construção civil nos EUA, aliado ao crescimento da economia chinesa, representado pela produção de aparelhos de ar condicionado, impulsiona o aumento da demanda por cobre.

Após três períodos recessivos 1974/1975, 1982/1983 e 1991/1992 com significativa redução do consumo de cobre, o crescimento da demanda se recuperou a partir de 1995. Isso pode ser atribuído à retomada do crescimento da produção industrial entre os membros da OECD, ao intenso crescimento do consumo de cobre na telefonia, computação e automóveis, bem como ao aumento do uso de cobre na construção civil em cabos e tubulações nos países emergentes.

A demanda mundial de cobre refinado cresceu a uma taxa de 2,8% entre os anos 1990 a 1999 sendo que a China apresentou a maior taxa de crescimento (9,8%), e os países da CIS com crescimento negativo de 19,2%. A projeção de crescimento da demanda global para o período de 2000 a 2015 é de 3,1% aa, com a China e países membros da CIS com taxas superiores a 8% aa. O consumo de cobre per capita vem crescendo nos países desenvolvidos em função do uso cada vez mais intenso de equipamentos eletrodomésticos e automação de escritórios e residências e na indústria automobilística. A China, que vem passando por fortes mudanças sócio-

econômicas, teve uma demanda crescente por infra-estrutura de energia e construção civil, o que expressa o grande crescimento no consumo neste país.

A manutenção das taxas de crescimento apresentadas até o ano 2000 está ligada à retomada do crescimento da produção industrial a nível mundial e superação do atual período recessivo. Os países em desenvolvimento são as principais alavancas de crescimento para o consumo de cobre, baseados na combinação de crescimento econômico (medido pelo aumento da produção industrial) com crescimento da utilização do cobre na indústria.

Diante disto e com as constantes mudanças nas condições de mercado com relação o que foi elaborado no estudo de viabilidade da mina do Sossego e análise de teor de corte dos primeiros anos, fundamentalmente por uma projeção do preço de cobre superior a 0.90 US\$/lb originalmente considerado, fizeram-se necessárias novas análises.

Após abertura da mina é possível obter mais informações, maior certeza das formações e possibilitando rever estudo e estabelecer novo programa de produção.

Como o projeto já se encontra em operação, estas novas análises leva em consideração a atualização dos recursos geológicos, ajustes no cenário econômico com um detalhamento maior dos custos unitários e os custos de reinvestimentos para sustentação e manutenção do empreendimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é desenvolver um seqüenciamento ótimo de lavra para os próximos cinco anos da mina do Sossego utilizando recursos computacionais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i. Definir os parâmetros de otimização, buscando informações atualizadas dos custos, reinvestimentos e outras fontes;
- ii. Fazer levantamento das otimizações anteriores;
- iii. Determinar limite final de cava, utilizando o software “Gemcom®” para manipulação de modelo de blocos e “Whittle®” para otimização de cavas;
- iv. Definir perfil variável do teor de corte;
- v. Quantificar o impacto da análise do teor de corte no ritmo anual de movimentação total;
- vi. Analisar os resultados da otimização.

2 . REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Otimização de cava

O software “Whittle Four-X” será utilizado para definição econômica dos limites da cava final. O sistema utiliza o algoritmo de Lerchs & Grossman, descrito abaixo, para o desenho ótimo de cava.

2.1.1 Métodos computacionais e híbridos

Uma vez que as variáveis a serem consideradas no planejamento de uma mina a céu aberto normalmente são numerosos, o uso do computador torna-se necessário.

Essas variáveis incluem:

- O teor e sua distribuição de valor do depósito;
- Os custos de mineração;
- Propriedades das rochas e o correspondente ângulo de talude admissível por tipo de rocha;
- Recuperação metalúrgica;
- Preço de venda.

Os dados importantes são inicialmente registrados no modelo de blocos, tais como tamanho dos blocos, teores médios, densidade, litologia e etc. As velocidades envolvidas no armazenamento das informações, no processamento das mesmas e na apresentação dos resultados são importantes para o planejamento de lavra. A computação aplicada ao planejamento de lavra permite:

- Aplicar algoritmos de planejamento cuja implementação seria impossível sem o computador;

- Examinar muito mais opções de projeto e assim possibilitar resultados melhores.

A utilização de métodos computacionais no planejamento de cava pode ser dividida em dois grupos:

- a) Métodos assistidos por computador. O cálculo é feito pelo computador sob o controlo direto do engenheiro. O computador não executa o projeto inteiro mas somente realiza o trabalho de calculo com o engenheiro controlando o processo. Exemplo disso é a utilização da técnica de Lerchs-Grossman.
- b) Métodos automáticos, que são capazes de executar o planejamento da cava final para um dado conjunto de restrições físicas e econômicas sem a intervenção do engenheiro. Uma categoria de métodos automáticos compreende técnicas matematica usando programação linear e dinâmica ou fluxo de rede. Uma segunda categoria utiliza os métodos heurísticos, tal como método dos cones flutuantes que produz uma cava aceitável mais não necessariamente produz uma cava ótima.

2.1.2 Algoritmos de otimização

A implementação computacional de modelos para determinação de cava final ótima em mineração a céu aberto avançou consideravelmente nos últimos anos. Quatro famílias genéricas de métodos computadorizados são utilizadas na indústria mineral:

- Métodos por incrementos, uma variante computadorizada do tradicional método manual de “push-back”.
- Algoritmo utilizando teoria dos grafos, o mais conhecido é o algoritmo de Lerch & Grossman;
- Algoritmo do Cone Móveis, também conhecido como Cone Flutuantes.

Como o método utilizado pelo software “Whittle®” é o Lerch-Grossman, descreveremos abaixo esse método.

2.1.2 .1 Algoritmo de Lerchs & Grossman

Usando a técnica de programação dinâmica, Lerchs, H. e Grossman, (1965) introduzem, juntamente com um algoritmo de otimização bi-dimensional de cavas, o tratamento algébrico para delimitar a jazida em blocos tecnológicos.

Lerchs e Grossman propuseram um algoritmo matemático que permite desenhar o contorno de uma lavra a céu aberto de tal forma que se maximize a diferença entre o valor total da mineralização lavrada e o custo total da extração do minério e estéril. Este trabalho foi o começo das aplicações da informática na otimização de lavra a céu aberto, sendo o artigo que tem tido maior incidência nesta temática aplicada a indústria mineira. Contudo, seu uso não é universalmente aceito provavelmente pelas seguintes razões:

- a) Complexidade do método em termos de compreensão e programação.
- b) Tempo requerido, em termos de ordenação para obtenção do desenho. Este fato tem gerado a criação de um grande número de algoritmos alternativos, como o algoritmo de *KOROBOV*, que reduz o tempo necessário para a otimização do desenho. Este problema aumenta se existe a necessidade de realizar uma análise de sensibilidade que gera múltiplos desenhos em função de mudanças nas variáveis tais como, custos, preços, teores mínimos de lavra etc. Contudo, o desenvolvimento, nos últimos anos de equipamentos de informática potentes a baixo custo tem minimizado, notavelmente, este problema.
- c) Dificuldade para incorporar mudanças nos ângulos de taludes da cava de exploração.
- d) O critério de otimização se baseia no benefício total, enquanto deveria ser baseado no Valor Presente Líquido (VPL). Esta dificuldade é comum na maior parte dos algoritmos existentes e tem uma solução difícil.

2.1.2.1.1 Método de Lerchs - Grossman bidimensional (2D)

Um dos métodos de maior aplicação na determinação dos limites da cava consiste na técnica bidimensional desenvolvida por Lerchs - Grossman, baseado na técnica de programação dinâmica.

O primeiro passo do processo é dividir uma seção transversal da cava em blocos. O tamanho escolhido para os blocos é de tal forma que possua uma altura equivalente à altura do banco e espessura tal que a linha diagonal resultante através dos blocos forneça o talude final desejado.

O passo seguinte é designar valores aos blocos com base no teor e na economia da operação de remoção dos blocos. Os blocos de estéril possuem um valor negativo, equivalente ao custo de extração do bloco. Aos blocos de minérios são designados valores positivos, equivalente ao lucro proporcionado pela extração do bloco, não incluindo o custo de remoção do estéril. A técnica de Lerchs e Grossman é baseada na seguinte relação:

$$P_{ij} = M_{ij} + \text{Max } P_{(i+k, j-1)}$$

Onde,

$$k = -1, 0, 1$$

M_{ij} = penalização do lucro na extração de uma única coluna de blocos ij na sua base

P_{ij} = lucro máximo que pode ser gerado pelas colunas de 1 a j dentro do pit e que contém ij nos seus limites.

Este método de modelamento não é aproximado. É uma técnica precisa para a definição dos limites da cava em uma seção transversal bidimensional, o qual dará o lucro máximo possível.

2. 1.2.1 .2 Método de Lerchs - Grossman tridimensional (3D)

Este método é baseado na teoria dos grafos, e visa encontrar corretamente o desenho ótimo da cava de exploração tridimensional, à margem da morfologia dos blocos utilizados na otimização.

O modelo de trabalho de algoritmo de Lerchs e Grossman 3D, considera os valores econômicos dos blocos e o conceito de arco estrutural. Um arco estrutural de um bloco A a um bloco B significa que para extrair o bloco A é necessário extrair previamente o bloco B, para que haja a liberação do bloco A, e não necessariamente vice-versa. Estes dois conceitos permitem obter o máximo econômico na lavra, com isso se define o limite ótimo da cava, não podendo existir outro limite que produza um valor econômico maior.

O método leva em conta dois tipos de informação. A primeira está relacionada com a inclinação dos taludes de lavra, dado imprescindível para poder estabelecer os correspondentes arcos estruturais. O segundo tipo de informação consiste no valor econômico do bloco. Se for estéril este valor será negativo (custo de lavra), enquanto que se é um bloco de minério terá valor positivo. Por último, os blocos situados no ar possuem um valor zero. É importante levar em conta este tipo de bloco, pois pode ocorrer que, entre os blocos de minério, o arco estrutural tenha que passar por blocos de ar.

Dados os valores dos blocos e dos arcos estruturais, o algoritmo começa a construir, desde a base da exploração, uma lista de blocos relacionados em forma de ramos de uma árvore. Os ramos são denominados fortes se o valor total dos blocos incluídos no ramo é positivo ou fracos (debilitados), em caso contrário. Os ramos vão crescendo desde do fundo da cava, unindo-se ou separando-se segundo as características dos arcos estruturais, até chegar à superfície e definir o desenho ótimo da cava.

Dados os grandes números de operações que o programa necessita realizar para otimizar a cava, o tamanho dos blocos a serem estudados constitui um ponto crucial no desenvolvimento do método.

Underwood e Tolwinski (1998) descrevem um algoritmo de planejamento de mina a céu aberto, no longo prazo para determinar a seqüência de avanços, definindo os objetivos e as restrições. O procedimento é baseado em uma ordem de busca, e foi desenvolvida através de programação dinâmica. Uma implementação comercial deste algoritmo está disponível no *NPV Scheduler* da *Earthworks Pty*.

Entre os diversos procedimentos de otimização disponíveis, pode-se assinalar: Lerchs & Grossmann, Análise Convexa e Cones Flutuantes, todos maximizam funções econômicas. Contudo, quando tais métodos analisam as exceções de característica, estas obrigatoriamente são integradas ao tipo de metodologia utilizada no tratamento de um ou mais elementos de cada bloco de lavra, podendo, ou não, uma dada parcela resultar em custos ou receitas desiguais. Tal abordagem é empregada na maior parte dos pacotes comerciais empregando como ferramenta para geração do limite ótimo da cava, podendo-se fazer referência a: MaxiPit da EARTHWORKS, Whittle Four-X da WHITTLE PROGRAMMING e o MultiPit da GEOVARIANCES.

2.2 Teor de Corte

Lane (1988) afirma que minério é uma definição econômica. Portanto, torna-se necessário observar que o teor de corte é sensível à taxa de desconto, conseqüentemente ao custo de capital. Assim, podemos chegar à conclusão de que empresas diferentes devem usar teores de corte diferentes no mesmo depósito, visto que não adotam as mesmas políticas e não possuem as mesmas estruturas empresariais.

Segundo Bonates (1992) aumentando o teor de corte haverá uma diminuição do fluxo de caixa total, pela redução da quantidade de material lavrado. O aumento do

teor implicaria, também, no aumento de valor do material lavrado e, no longo prazo a tendência é que haja um aumento no fluxo de caixa total.

De Tomi (1998), um aspecto fundamental é o efeito temporal nos processos de otimização. Prever, de forma correta, as variações monetárias ou mesmo as variações de qualidade exigida pelo mercado ao longo da vida do empreendimento é um problema relevante e de difícil resolução.

A geometria espacial das jazidas minerais não é a única que depende dos critérios que servem para definir o que é minério ou não. Esses são fundamentalmente de caráter econômico e tem uma componente temporal muito significativa, o que hoje é considerado como minério amanhã pode não ser. O fato é que, em termos econômicos a definição de minério não pode ser separadamente de todos os processos da mineração. E mais, a própria economia de todo processo é que determina a definição econômica do minério.

A compreensão das causas econômicas que influenciam nos limite da lavra deve ser consequência da compreensão dos fatores econômicos de todos os processos da mina. Os fatores envolvidos são muitos e incluem mercados, preços e custos, para que todos eles possam integrar em um conceito de valor.

Qualquer empreendimento mineral não é investigado em um único período de tempo, porém é averiguado passo a passo, de acordo com uma série de fases consecutivas, por meio das quais são conhecidas, cada vez mais e melhores as características geológicas do depósito. Ao final de cada fase de investigação, ou até mesmo durante a realização de qualquer uma, surgem várias indagações: Chegará o depósito ser uma mina? Seguimos ou abandonamos? As respostas estão nos estudos de viabilidade e devem ser feitos no começo de um programa de investigação e repetido tantas vezes quanto forem necessárias, com objeto de decidir a continuidade ou não do projeto.

Na fase de investigação, o estudo de pré-viabilidade é um processo dedutivo que aceita uma grande carga de suposições, extrapolação e projeções futuras, e são baseadas em dados preliminares. Uma sondagem da área mineralizada, somada as

informações geofísicas e geoquímicas, ainda não define uma localização do minério a ser lavrado, mas provêem uma base para criar um modelo geológico, que talvez possa responder a determinadas expectativas futuras. Investigações adicionais fornecerão um modelo mais exato e, com ele, as informações para um estudo mais rigoroso de viabilidade, somam-se para tomar a decisão seguinte no que se refere continuar ou abandonar.

O estudo de pré-viabilidade não é algo que deve estar circunscrito na avaliação final da jazida, é uma ferramenta que ajuda a decidir a continuidade ou interrupção das fases de investigação. Evidentemente, estes estudos prévios têm uma pretensão muito mais modesta que o estudo de viabilidade que define abertura ou não do projeto. Deve-se ter bastante cuidado na interpretação dos resultados. O objetivo principal é conhecer as possibilidades que tem um corpo mineralizado de ser lavrado economicamente.

Normalmente se parte de algumas hipóteses iniciais, que assumem que os recursos são suficientes para implantar uma mina, e de um método de lavra e tratamento de acordo com a geometria, conhecida ou estimada, do corpo mineralizado. A adoção dessas suposições implica alguns custos associados que podem ser avaliados de forma aproximada por diversos procedimentos. Por outro lado, as características previsíveis do possível minério ou concentrado, permitem estimar o preço de venda.

Com os preços e os custos assim deduzidos, calcula-se um primeiro teor de corte a partir do qual é possível selecionar áreas a serem lavradas, isto é, pode-se determinar a forma espacial e avaliar os recursos.

A partir dos preços e custo revisados se tem um pequeno estudo de rentabilidade no qual se determina o VPL, taxa interna de retorno e o *payback* e qualquer outro índice que se considere importante. Ocasionalmente, também, pode ser feito um estudo de sensibilidade da rentabilidade a partir das variações de determinados parâmetros importantes.

2.2.1 Fatores que determinam o teor de corte

2.2.1.1 O preço do minério

A maior parte dos negócios de mineração ocorre dentro da economia de mercado e os preços são regidos por fatores de oferta e demanda. Os meios modernos de transporte fazem com que muitas substâncias tenham um mercado mundial, de modo que mudanças no câmbio em um determinado país afetam os restantes.

2.2.1.1 .1 Fatores que determinam o preço

Oferta e demanda – A demanda pode variar em períodos curtos de tempo por vários motivos. Quando uma substância substitui uma outra, o preço da primeira diminui. Troca de tecnologias pode aumentar a demanda por metais ou diminuí-la. Os altos preços estimulam os produtores a aumentar a produção.

É preciso observar que a determinação do preço depende do mercado e do tipo deste mercado. Assim, se torna fácil à observação de que as relações preço-quantidade são inversas. Como se pode observar na curva de demanda, ou seja, quando aumenta os preços diminui a procura.

Os preços dos minerais são baseados em diversas aplicações e depende da natureza do mesmo. Uma classificação dos minerais em função do valor e comercialização é segundo sua classe: minerais metálicos, industriais, energéticos e rochas industriais. Cada um destes grupos tem uma política de fixação de preços. Até mesmo dentro de cada grupo existem diferenças notáveis de uma a outra substância.

2.2.1.2 Custos

O custo de mineração apresenta grande variação devido às condições geológicas de cada mina que incluem, entre outras, lavra a céu aberto ou subterrânea, percentual de metal no minério e ocorrências de outros minerais.

Duas considerações devem ser analisadas: lembrar de que a precisão dos custos deve estar em conformidade com a confiabilidade dos dados geológicos, e que os pesos dos argumentos geológicos e econômicos sejam os mesmos.

2.2.1.3 Custo de capital e operacional

O custo de capital é o custo referente aos equipamentos, construções, infra-estrutura, etc., os quais possui uma vida econômica superior a um ano. Esses itens são referidos como capital ativo. É sempre possível se deduzir parte do custo inicial desse custo de capital do rendimento bruto da empresa para a vida econômica do equipamento, com a finalidade de calcular o valor dos impostos que devem ser pagos sobre o lucro operacional da empresa.

Custo operacional é o custo de operação da mina, geralmente feito em base anual e incluem o custo de trabalho, combustíveis, eletricidade, etc., ou qualquer outro custo que possua uma vida econômica limitada a um período inferior a um ano. Para o cálculo dos impostos, o custo operacional deve ser deduzido do rendimento da empresa, no período em que eles ocorrem.

2.2.1.4 Produção

A escala de produção deverá ser estabelecida através da pesquisa de mercado, verifica-se a projeção de produção, consumo do bem e a quantidade que a área de influência econômica da jazida é capaz de consumir.

A escala de produção é, ainda, função da reserva lavrável – e, conseqüentemente, do método de lavra adotado – de tal modo que resulte em uma vida para a mina compatível com o atendimento dos objetivos econômicos, ou, em outras palavras, a mina deve ter uma vida suficientemente longa para compensar os investimentos efetuados.

Um programa de produção de uma mina pode ser definido para especificar a seqüência na qual devem ser removidos os blocos, sujeito a uma variedade de restrições físicas e econômicas. Tipicamente, entre as restrições incluem: seqüência

de extração do minério; operações de lavra, processamento, capacidade de refino; teores de alimentação do moinho e concentração; e várias exigências operacionais tais como: tamanho e forma da cava final, localização dos acessos entre outros. Várias técnicas foram propostas para solucionar este problema, entre elas incluem: métodos heurísticos; métodos paramétricos; técnicas de programação dinâmica; algoritmos genéticos e redes neurais, etc. Estes procedimentos, normalmente, apresentam limitações não satisfazem a maioria das restrições e se limitam a uma solução não otimizada e sem uma medida de qualidade.

Em muitas situações, o projeto da cava e o programa de produção são sensíveis a mudanças bruscas nas variáveis econômicas e nos parâmetros operacionais. De acordo com a história, muitos depósitos ficaram esperando simplesmente para economia melhorar ou para alguém encontrar minério melhor. Em outros casos, um depósito é posto em produção com a conseqüência assombrosa de insolvência.

Existem situações em que um depósito rejeitado por várias companhias, entra eventualmente em produção e gera lucro. O que se pode concluir é que não é simplesmente uma questão de sorte, mas em muitos casos o sucesso é fundado na utilização de métodos que quantificam o risco. Os três maiores fatores que influenciam no sucesso ou fracasso são: credibilidade do estudo de viabilidade, eficiência de produção e mudanças em parâmetros econômicos.

Quando da escolha do método de lavra, é necessária uma estimativa inicial do volume de produção. Isto é geralmente feito antes da determinação de qualquer outro parâmetro. Esta informação é uma função direta do volume de reservas disponíveis do depósito e da capacidade de investimento de capital da empresa.

Se o volume de produção requerido é elevado, será necessário escolher um método de lavra que se adapte a um alto grau de mecanização, capaz de suportar uma grande capacidade de produção. Inversamente, se o volume de produção planejado é pequeno, o método de lavra escolhido será completamente diferente. Assim, a escala de produção, também, é um fator que influencia quando da decisão do método de lavra.

As operações unitárias do processo de lavra é que determina a produção, já que o método de lavra é definido como um conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida.

O fundamental na mineração, entretanto, é desenvolver um sistema de extração contínua que desmonte e movimente o material sem interrupção. Apesar de algum trabalho de desenvolvimento continuar ao longo da vida da mina, a ênfase desse estágio é a produção. Essa fase somente é iniciada após a realização de uma quantidade suficiente de desenvolvimento para garantir que uma vez a lavra seja iniciada ela não mais seja interrompida até o final da vida útil da mina.

O planejamento da produção significa decidir antecipadamente o que deve ser feito para alcançar determinado fim. Para tanto, nesta fase, deve-se levar em consideração as seguintes previsões de: demanda, insumos, mão-de-obra e equipamentos, alocação dos recursos.

Nos estudos de preliminares, normalmente, não se pode calcular com precisão o nível de produção, devido às condições e as informações serem limitadas. Estes tipos de informação, muitas vezes, são obtidos através de estimativas.

2.2.1.4 .1 Modelo estático para determinar a produção

A formulação matemática mais simples é um modelo estático que parte das seguintes suposições:

- O investimento é proporcional à escala de produção e é a totalidade da despesa no ano zero, ou seja, antes de iniciar a produção.
- O preço unitário de venda permanece constante durante a vida da mina.
- O custo unitário de produção é, também, constante e o custo anual de produção é proporcional à escala de produção.
- A escala de produção se mantém constante durante toda a vida da mina.

Como se vê, as suposições constituem uma simplificação das reais ocorrências das operações de mineração, deste modo estabelecido de maneira a se poder desenvolver um modelo matemático que as utilize como base.

De acordo com estas suposições podemos escrever:

$$\text{Investimento inicial: } I = i.E_p \quad (2.1)$$

$$\text{Custo de produção: } C_p = C_u.E_p \quad (2.2)$$

$$\text{Vida útil da mina: } V_u = \frac{R_l}{E_p} \quad (2.3)$$

$$\text{Receita anual: } R_a = P_u.E_p \quad (2.4)$$

$$\text{Saldo anual de caixa: } S_c = (P_u - C_u)E_p \quad (2.5)$$

Onde,

- i = investimento por tonelada de extração anual
- E_p = escala de produção
- P_u = preço de venda
- C_u = custo de produção
- R_l = reserva lavrável.

Assim, o fluxo de caixa se reduz a um investimento inicial no tempo zero, ou seja, é uma série uniforme de n saldos anuais. O valor atual do fluxo de caixa pode ser calculado para uma determinada taxa de juros, escolhida pelo investidor.

V_a = Valor atual bruto das receitas a uma taxa de juros r par n anos de vida da mina, se exprime pela seguinte expressão Eq.2.6:

$$V_a = (P_u - C_u).E_p \cdot \frac{(1+i)^{\frac{V_u}{E_p}} - 1}{i.(1+i)^{\frac{V_u}{E_p}}} - i.E_p \quad (2.6)$$

Nesta fórmula considerando cada uma das suposições assumidas, os valores de P_u , C_u e E_p são constantes e R_l e r também são. Assim, obtendo-se a função $V_a = F.(E_p)$

o seu valor máximo nos dá a escala de produção que maximiza o valor atual líquido dos benefícios futuros.

A Fig. 2.1 ilustra graficamente as curvas representativas das funções que caracterizam o modelo matemático, evidenciando o ponto P^* ao qual corresponde o valor atual máximo.

O modelo estático admite uma fixação dos parâmetros que, na realidade, são, essencialmente, dinâmicos. Assim, em muitos casos, sua aplicação pode conduzir a resultados não, totalmente, representativos da realidade, pois, as suposições admitidas para a formulação, às vezes, pecam por excesso de simplificação se considerarmos que:

- O custo anual de produção não é proporcional à tonelagem anualmente extraída.
- O investimento inicial não é proporcional a tonelagem extraída
- Durante a vida da mina há necessidade de reposição de equipamentos, por alcançarem o limite de sua vida útil.
- O preço unitário de venda oscila com as tendências do mercado.
- A taxa anual de produção, também, não é constante, crescendo de valores pequenos no início da operação até um valor máximo e decrescendo até zero no fim da vida da mina.

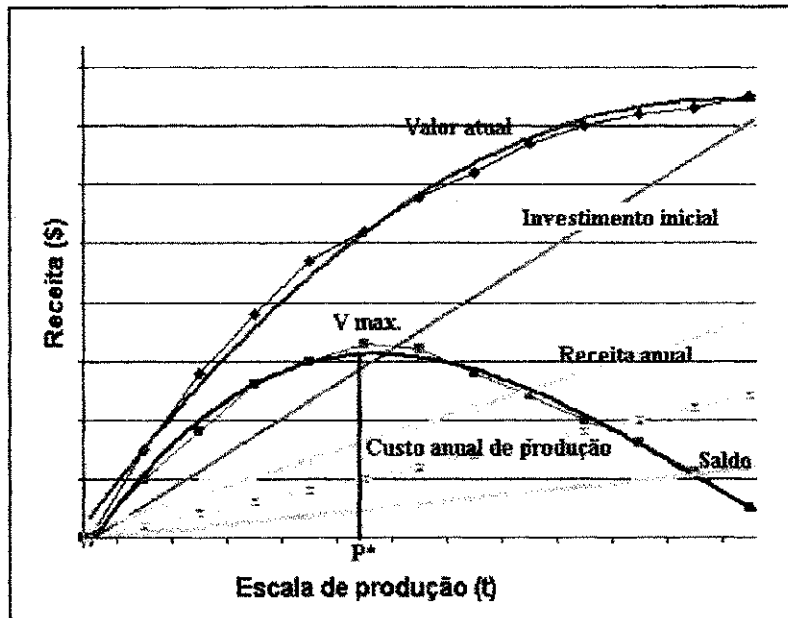


Figura 2.1 – Modelo de Massé

Trata-se, no entanto, de uma primeira aproximação do problema para determinar a escala ótima de produção e antes de sua decisão final. Devem ser introduzidos, neste modelo, novas suposições que, realmente, reflitam as condições operacionais da mina que se planeja.

A conclusão, importante, a que se chega é que a determinação da escala de produção não é simplesmente uma função da pesquisa de mercado; é antes de tudo, um estudo técnico e econômico, cujos resultados evidenciam uma escala ótima de produção, que deve ser comparada com a capacidade de absorção do mercado, para decidir pela escala final que, simultaneamente, satisfaça as duas condições mencionadas: otimização da escala e capacidade de absorção do mercado.

2.2.1.5 Cálculo do teor de corte

O estudo do teor de corte tem sido abordado por diversos autores sob pontos de vistas mais distintos. Assim, diante dos que fazem um tratamento puramente matemático do problema, existem outros que atentam mais nos aspectos econômicos ou mineiros. Dois autores são os que têm um especial interesse devido à aplicação prática de suas deduções e definições: os métodos de Lasky e o de Lane.

O teor de corte é um parâmetro básico para definição econômica da mina, é a massa de minério capaz de pagar às operações de lavra, processamento e comercialização. E corresponde a menor proporção, em um todo, de uma determinada substância que pode ter um corpo mineral para ser extraído com benefício econômico, e delimita o que é minério e o que é estéril, dando destino diferentes aos mesmos. Para determiná-lo, existem vários métodos, porém, o que todos têm em comum é considerar os aspectos econômicos da mineração. Por isso, é necessário fazer uma estimativa do preço de venda do bem mineral e dos custos dos processos de lavra e beneficiamento, de forma mais detalhada possível. Estéril e minério são distinguidos pelo seu teor médio em comparação com o teor de corte fixado.

2.2.1.5.1 O método de Lasky

Em 1952, no informe Paley para o Presidente dos Estados Unidos da América, o professor Lasky introduziu o conceito de teor de corte em função do preço de venda dos minerais, Urbina e Herbert (2002). A Eq. 2.7 apresenta como foi deduzida uma expressão econômica.

$$B = Ra - \Sigma C \quad 2.7$$

Onde,

- B = Benefício econômico
- Ra = Receita anual
- ΣC = soma de todos os custos de mineração e metalurgia

A receita anual é dada pela Eq. 4.8, ao determinar o teor que produz um benefício nulo.

$$Tc = \frac{\Sigma C}{P_u - \eta} \quad 2.8$$

- Tc = Teor de corte
- η = Rendimento global do processo

➤ P_u – preço de venda

A definição do teor de corte segundo Lasky, é aquela que produz um benefício econômico. Desta forma, o benefício econômico e o teor de corte ficam definidos de acordos com as seguintes equações.

$$B = T_c \cdot P_u \cdot \eta - \Sigma C \quad 2.9$$

$$T_c = \frac{B + \Sigma C}{P_u \cdot \eta} \quad 2.10$$

2.2.1.5.2 O método de Lane

A teoria do VPL é aceitável universalmente na mineração para análise financeira, valorização das minas e a aplicação de novos projetos minerais. Todavia, sua utilização para determinar o teor de corte ótimo é pouco freqüente. De acordo com Lane (1888), a estratégia para maximizar o VPL de uma operação mineral baseada na lavra de uma jazida que possui recursos finitos, pode ser determinada em qualquer período de tempo utilizando o ponto máximo da Eq. (2.11).

$$F_c - pt. \left(i \cdot V \frac{dV}{dt} \right) = F_c - Co \cdot pt \quad 2.11$$

Onde,

- F_c = fluxo de caixa por unidade de minério lavrado
- pt = período de tempo
- i = taxa de juros
- dV/dt = variação do VPL com o tempo
- Co - Custo de oportunidade

Em termos econômicos, Co é o custo de oportunidade que depende do interesse que poderia ser obtido o ganho de capital se houvesse investido em outro projeto e das perdas causadas pelas variações econômicas.

Para o cálculo do teor de corte, por exemplo, uma jazida metálica mono-mineral, devem ser considerados os três produtos que se obtém no processo de mineração/metalurgia, e assegurar, minério, concentrado e metal, assim como a capacidade dos diversos processos produtivos e os custos dos mesmos, expressos por toneladas produzidas (custos variáveis) e ou anuais (custos fixos). No caso de uma jazida conter mais de um tipo de minério, trabalha-se, normalmente, com o teor equivalente.

2.2.1.5.3 Cálculo do teor em função do custo de produção

As grandezas teores de corte, teores médios e tonelagens estão intimamente ligados. Ao se fixar o valor de uma destas, as outras duas ficam automaticamente fixadas. Geralmente, a variável a ser fixada é o teor médio do minério a ser lavrado e que deverá satisfazer aos requisitos de ordem técnica e econômica do conjunto mina-beneficiamento.

Consideremos uma jazida qualquer em que não existisse zoneamento, ou seja, embora estruturada, a mineralização não apresenta zonas preferenciais de concentração. Para uma jazida deste tipo, os limites da cava final permanecem praticamente os mesmos independentemente do teor de alimentação escolhido. Vejamos os efeitos da variação deste teor sobre o custo de mineração.

A reserva lavrável de uma jazida é dependente dos teores dos blocos que a constituem. Esta dependência é designada por parametrização e é sempre válida dentro de um quadro tecnológico (que define a unidade lavrável ou bloco de lavra) e econômico (que fornece elementos para a otimização do teor de corte).

A parametrização, de uma jazida, em sentido geral é uma extensão prática da “Geoestatística Mineral” que usa ferramentas matemáticas próprias, destinadas a otimizar o aproveitamento do que se está a parametrizar. Esse aproveitamento ótimo não se refere apenas a definição da unidade de lavra e a determinação do teor de corte. Atinge também a “caracterização ótima” da jazida, através do estudo da “curva característica ótima”, a escolha e a afinação do(s) método(s) de beneficiamento do(s)

minério(s), a identificação dos parâmetros que influenciam a lavra e processamento e outros. Embora muitos destes aspectos sejam mais próprios de um detalhamento de um projeto do que de um projeto detalhado em fase de estudo básico.

Vamos nos reportar às curvas de parametrização da jazida e estudar os efeitos acima referidos sobre os mesmos. admita, ainda, que a quantidade do produto de beneficiamento permaneça constante, qualquer que seja o teor de alimentação escolhido.

A um acréscimo de teor de alimentação, corresponde um aumento no teor de corte e uma diminuição na reserva lavrável. Em conseqüência, haverá também uma alteração na relação estéril minério, ou seja, a quantidade de estéril a ser removida para liberação de uma tonelada de minério, aumenta com o crescimento do teor de alimentação. Como o custo de lavra é expresso pelo custo de uma tonelada de minério na alimentação da usina de beneficiamento, estando nele já computado o custo de remoção de estéril, é evidente que este custo cresce com o aumento do teor de alimentação, pela maior quantidade de estéril envolvido. A variação do custo de lavra com o teor da alimentação é evidenciada pela figura 2.2.

Com relação ao custo de beneficiamento, este decresce com o aumento do teor de alimentação, pois para uma mesma quantidade de concentrado, há a necessidade de processar uma quantidade menor de minério, por ser mais rico, e, conseqüentemente, exige menor consumo de reagentes, menores equipamentos, menor quantidade de insumos. Enfim, um menor investimento inicial e um menor custo operacional. A variação do custo de beneficiamento com o teor de alimentação é mostrado na figura 2.3.

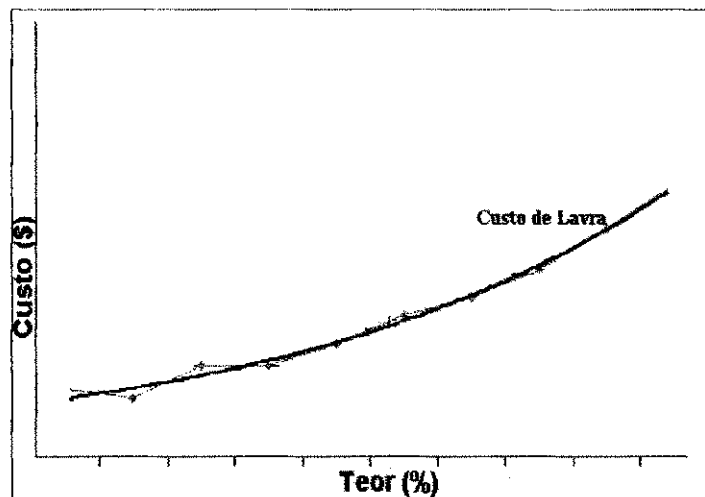


Figura 2.2 – Custo de lavra x teor de alimentação (Bazante, 2005)

A Fig. 2.3 a seguir ilustra a variação do custo de beneficiamento com o teor de alimentação.

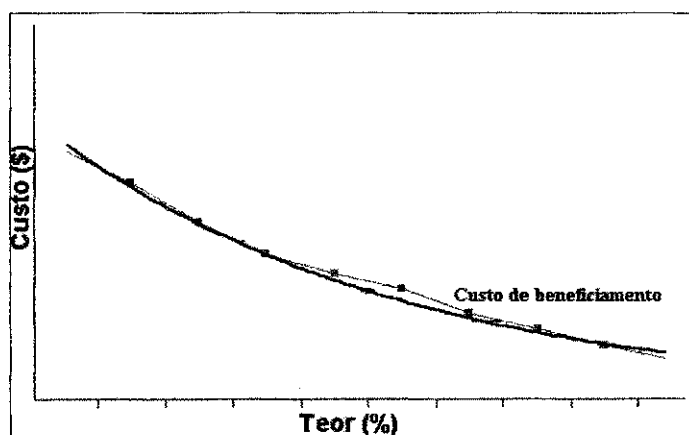


Figura 2.3 – Custo de beneficiamento x teor de alimentação (Bazante,2005)

Conforme foi dito anteriormente, o custo de mineração é a soma dos custos citados; compondo as duas figuras representativas das variações destes custos e traçando a curva representativa do somatório dos mesmos, teremos a Fig. 2.4.

A observação da curva de custo de mineração nos permite identificar o ponto P em que este custo é mínimo; a este ponto corresponde o teor de corte ótimo T_o , para o qual o custo de mineração é mínimo.

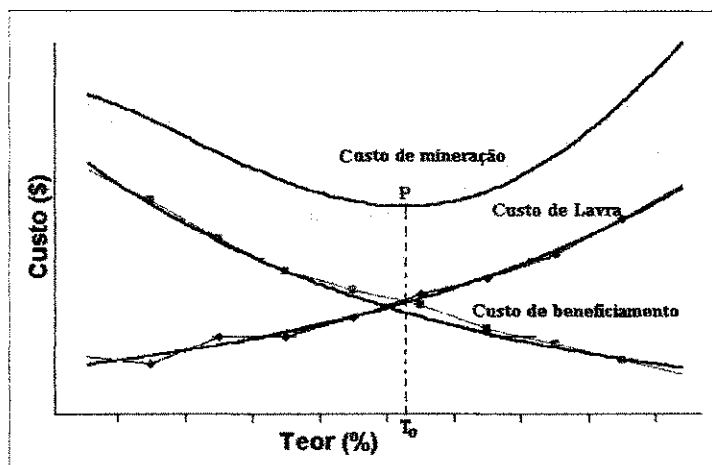


Figura 2.4 - Custo de mineração x teor de alimentação (Bazante, 2005)

Existem vários modelos matemáticos que permitem a dedução do teor de alimentação; a aplicação destes modelos é extremamente útil e válido como uma primeira aproximação do problema, pois permite quantificar uma ordem de grandeza do teor procurado. A partir deste valor inicial, devem se proceder testes de concentração – mesmo em escala de bancada – e determinar pontos suficientes que permitam o traçado da curva de variação correspondente.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Projeto Sossego

A descoberta do cobre remonta a tempos pré-históricos, pois a sua exploração mineira já é feita há mais de 6000 anos. Juntamente com o ouro e o ferro, o cobre era já utilizado pelas civilizações ancestrais, tal como a egípcia. Os principais depósitos de cobre da antiguidade estavam localizados no Sinai, na Síria, no Afeganistão, em Chipre, na Macedónia, na Ibéria e na Europa Central. As principais minas europeias da era do bronze estavam localizadas na Áustria, Alemanha, França, Espanha, Portugal, Grécia e Tirol.

Em 1996 iniciaram-se os trabalhos de pesquisas em uma área do denominado Prospecto Sossego, situado na porção basal sul de Carajás. As pesquisas avançaram e em dezembro de 2000 conclui-se o estudo de viabilidade. O Projeto Sossego é composto por duas cavas: Sequeirinho e Sossego.

O “*pré stripping*” da Cava do Sequeirinho iniciou-se em 2002 em função da demanda de material rochoso para o alteamento da barragem e outras obras, estendendo-se ao longo do ano de 2003. No final de 2004 começou a alimentação do britador para formação da pilha pulmão, fixando-se em março o início do “*rump up*” da planta de beneficiamento.

3.2 Localização

O projeto Sossego está localizado no município de Canaã dos Carajás no estado do Pará, distante 80 km de Paraupabas. A área onde se localiza o Complexo Sossego está inserida no contexto da Província Mineral de Carajás.

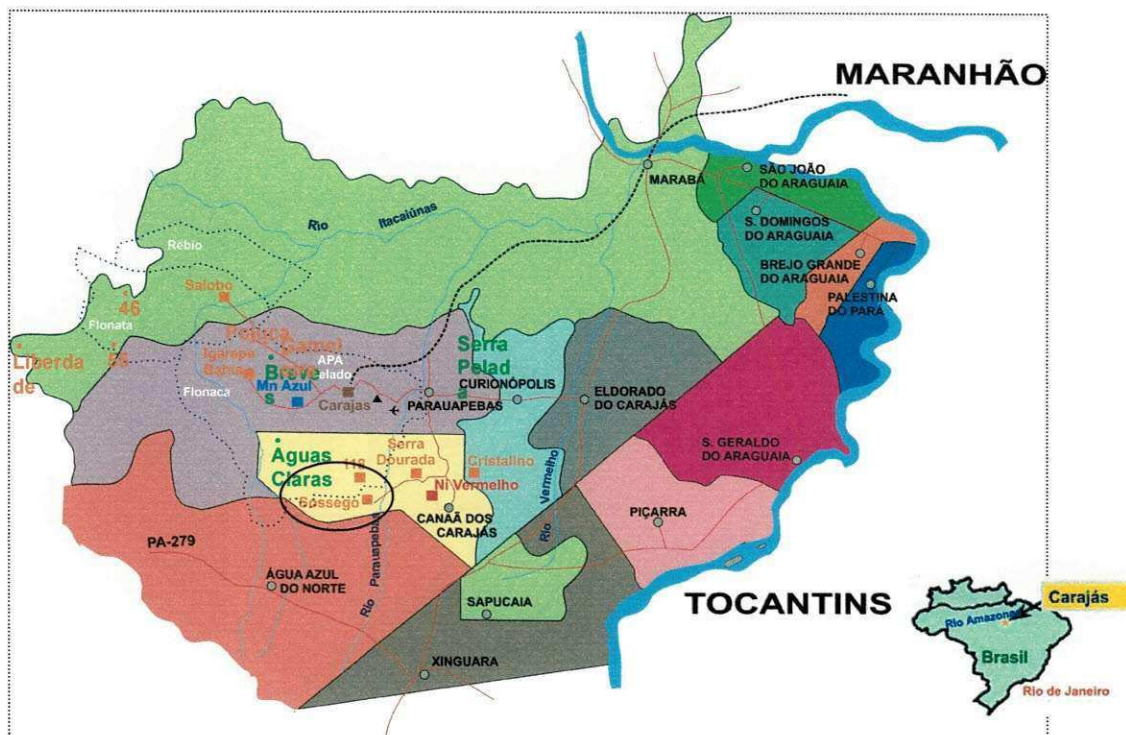


Figura 3.1 – Localização da Mina do Sossego

3.3 Geologia

3.3.1 Geologia Regional da Província Mineral de Carajás

A Província Mineral de Carajás, situada na região sudeste do Estado do Pará, no Brasil, tem características geológicas singulares, abrangendo uma área de aproximadamente 30.000 km² (300 km x 100 km), entre os rios Xingu e Tocantins/Araguaia (Figura 3.1). A Província do Carajás é uma bacia importante do neoarqueano, apresentando uma forma sigmoidal devido à deformação, com direção oeste/noroeste – leste/sudeste. A forma sigmoidal de Carajás é explicada por vários alinhamentos de vulto com orientação oeste/noroeste – leste/sudeste, tais como as zonas de falhas transcorrentes sinistrais do Carajás e Cigano. A região é cortada por sistemas de falhas nordeste e noroeste. A seqüência vulcano-sedimentar arqueana de Carajás é composta, principalmente, por vulcânicas bimodais, sedimentos químicos, incluindo grandes pacotes de formações ferríferas bandadas (FFB) que encerram os maiores depósitos de ferro do mundo, rochas piroclásticas e sedimentos clásticos.

Sabe-se que várias unidades intrusivas arqueanas, como a Suite calco-alcálica Plaquê (2,77 bilhões de anos), e os granitos alcalinos Salobo e Estrela (2,5 bilhões de anos), têm forte correlação com a mineralização de cobre e ouro do Carajás. Existem várias gerações de corpos máficos, inclusive alguns que são diques pós-mineralização. Uma suite de granitos alcalinos proterozóicos (1,88 bilhão de anos), que inclui os Granitos Central Carajás, Cigano, e Pojuca, também se encontra intrudida na Sequência Carajás. Cortando toda a sequência, há várias gerações de diques máficos mais jovens.

Mineração Serra do Sossego
Geologia Regional de Carajás

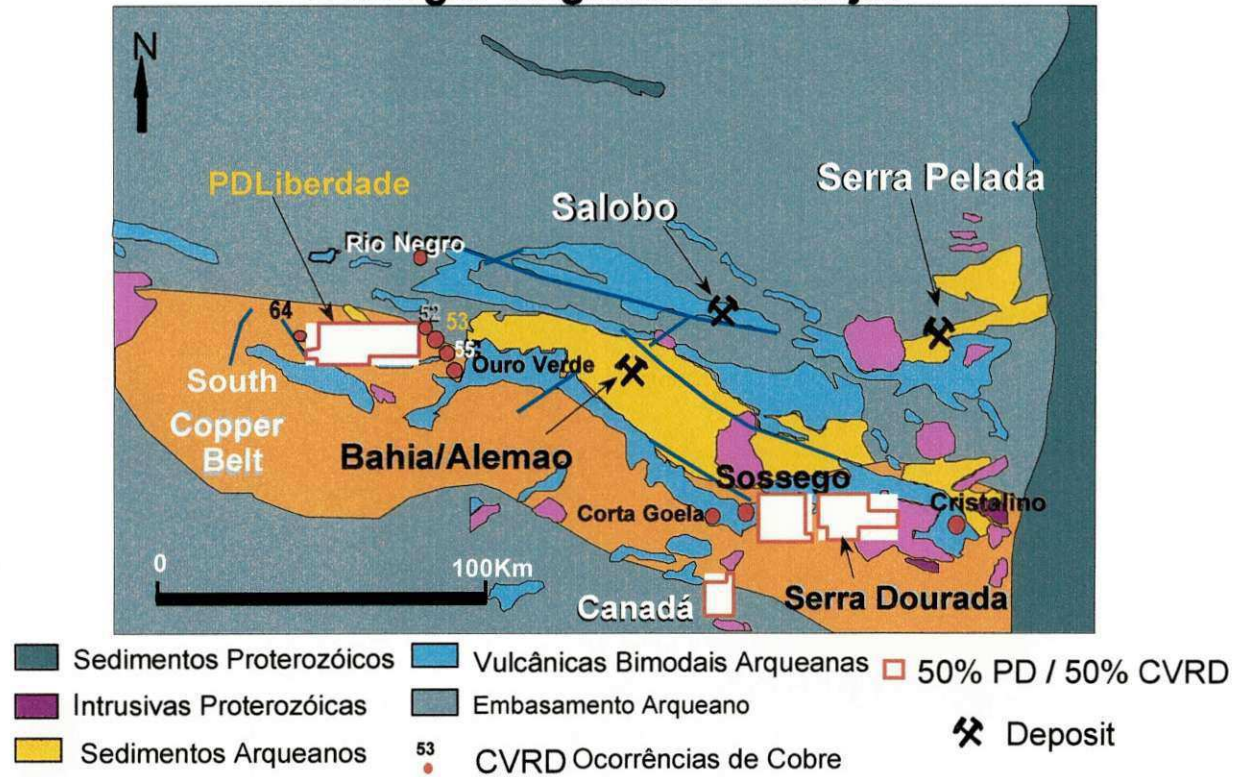


Figura 3.2 – Geologia Regional de Carajás (CVRD,1998)

Regionalmente, a seqüência vulcano-sedimentar de Carajás foi denominada de Supergrupo Itacaiúnas que, tentativamente, foi dividido do topo para a base em:

- (i) Grupo Igarapé Bahia – composto de rocha vulcânicas máficas – lavas, tufos e brechas, metassedimentos e formações ferríferas bandadas – com depósitos de Cu, Cu-Fe, Cu-Au-Mo-Ag, incluindo o Igarapé Bahia (18 milhões de toneladas com 4,0 g/t Au em material intemperizado) e o Alemão/Bahia (120 milhões de toneladas com 1,6% Cu e 1,5 g/t Au, diretamente abaixo das reservas de ouro) (Figura 3.2). O depósito de ouro laterítico de Serra Pelada está encaixado numa seqüência metassedimentar clástica sobrejacente;
- (ii) Grupo Grão Pará – é composto, da base para o topo, pelas formações Parauapebas e Carajás. A Formação Parauapebas consiste em vulcânicas bimodais, com vários graus de alteração hidrotermal, metamorfismo e deformação. A Formação Carajás, contém os depósitos de ferro gigantesco (18 bilhões de toneladas com 65% Fe) lavrados pela CVRD (Figura 3.2).
- (iii) Grupo Igarapé Pojuca – rochas vulcânicas básicas a intermediárias (freqüentemente com alteração de cordierita-antofilita), anfíbolitos, gnaisses e sedimentos químicos (cherts, formação ferrífera bandada (FFB) da facies óxido-silicato) e xistos com composição variada. A unidade de formação ferrífera bandada hospeda o depósito de Cu-Zn do Pojuca (Figura 3.2).
- (iv) Grupo Igarapé Salobo – metassedimentos contendo Fe associados a quartzitos e gnaisses, da facies anfíbolito; é o hospedeiro do Depósito Salobo de Cu-Au (Mo) – 1.2 bilhões de toneladas contendo cerca de 1% Cu (Figura 3.2).

A porção basal da sequência Carajás é composta por terrenos gnáissicos com remanescentes de greenstone belts arqueanos. As mineralizações de cobre e ouro da Província estão associadas a intrusivas félsicas (granitos Plaquê e Estrela). Diques e intrusivas anarogênicos de composição félsica do Proterozóico e diques máficos do Mesozóico cortam a Sequência Carajás e os terrenos gnáissicos.

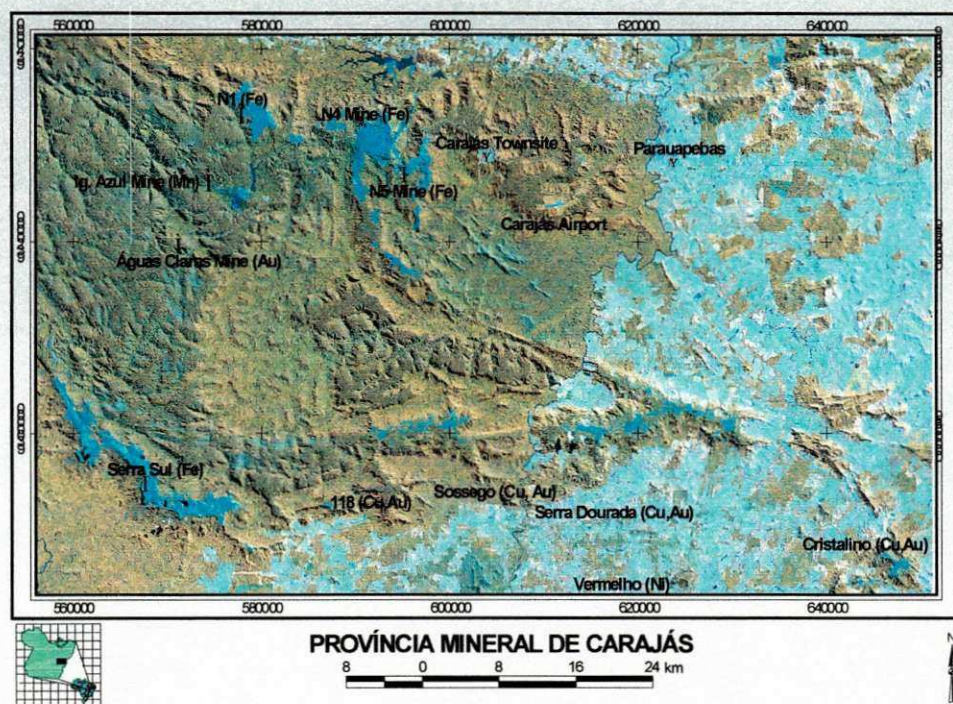


Figura 3.3 – Localização dos principais depósitos de cobre na Província de Carajás (CVRD,1998)

3.3.2 Geologia Local

O Projeto Sossego está localizado na porção sul da sigmóide de Carajás, ao longo de uma zona de cisalhamento regional com direção oeste/noroeste – leste/sudeste, com

forte mergulho para sul. Ao longo deste amplo cinturão de cisalhamento, denominado de “Cinturão Sul de Carajás”, há uma faixa de depósitos de $\text{Cu} \pm \text{Au}$ de alto teor ($>1\% \text{ Cu}$), conhecidos desde 1997, fruto de descobertas da MSS (Mineração Serra do Sossego), Phelps Dodge e CVRD. De oeste para leste, estes depósitos são: 118, Sequeirinho, Sossego, Jatobá, Serra Dourada (Bacaba e Visconde) e Cristalino (Figura 3.3). Este cinturão forma uma faixa com cerca de 60 km de mineralização. Falhas com orientação nordeste e noroeste cortam transversalmente o cisalhamento principal oeste/noroeste – leste/sudeste e as interseções destas estruturas aparentemente agem como zonas alimentadoras e hospedeiras excelentes para a mineralização de Cu-Au .

O cinturão de cisalhamento do Sossego está situado na zona de contato de terrenos contendo tonalito-trondhjemitó-granodiorito (terrenos TTG) ao sul e as vulcânicas de Carajás ao norte. Os terrenos TTG, denominados de Complexo Xingu, possivelmente, pertencem ao mesmo ciclo durante o qual evoluíram as vulcânicas de Carajás. O amplo cinturão de cisalhamento Sossego caracteriza-se regionalmente pela abundância de intrusivas, dentre elas, granitos alcalinos e granófiros de granulação fina, gabros e dioritos. Uma alteração hidrotermal intensa, caracterizada por albita, biotita, actinolita, carbonato, epidoto e escapolita, junto com magnetita em abundância, forma um envelope quase contínuo circundando a mineralização de cobre-ouro que define o Cinturão Sul de Carajás. Estas descobertas feitas recentemente no Cinturão Sul de Carajás são extremamente parecidas com os depósitos de Fe-Cu-Au-ETR (elementos terras raras) existentes no mundo, tais como as minas La Candelaria (Chile) e Ernest Henry (Austrália).

O Complexo Sossego consiste de dois depósitos principais mineralizados a cobre-ouro, denominado Sequeirinho e Sossego. Considerando-se parâmetros econômicos utilizados no Estudo de Viabilidade e as características (tamanho, geometria, profundidade e teor) desses depósitos concluiu-se que uma lavra a céu aberto de grande escala é a operação mais indicada.

3.4 Método de lavra

Estão sendo utilizados os procedimentos tradicionais de lavra a céu aberto em bancadas e deposição em pilhas de estéril aplicados na indústria da mineração, de acordo com a escala de produção e dos equipamentos selecionados, de modo a garantir uma operação segura e produtiva para o pessoal, os equipamentos e as instalações.

3.5 Equipamentos

A operação de lavra a céu aberto do Complexo Sossego inclui as operações unitárias de perfuração, desmonte, carregamento e transporte por caminhão, além de todos os equipamentos auxiliares necessários para manter as áreas de trabalho, estradas e pilhas de estéril.

As grandes unidades consistem de perfuratrizes elétricas e a diesel para furos de diâmetro de 12 1/4" e 9 7/8", escavadeiras a cabo de capacidade de 54 m³ e 28 m³ e carregadeiras a diesel com capacidade de 19 m³.

As perfuratrizes a diesel e as escavadeiras elétricas a cabo de 28 m³ estão sendo utilizadas principalmente para a lavra do minério, o qual requer maior mobilidade, e perfuratrizes elétricas e escavadeiras a cabo de 54 m³ para a remoção do estéril. As carregadeiras foram consideradas na frota a fim de suportar os trabalhos das unidades maiores em zonas estreitas e a abertura de novos acessos. Os caminhões de 240 t foram selecionados para transportar todo o tipo de material da cava.

As unidades auxiliares possuem tratores de esteira de 870hp (tipo D11), estes equipamentos são necessários para a manutenção das frentes de trabalho, das pilhas de estéril e para a limpeza do material acumulado nas bermas. Tratores de pneus, motoniveladoras e caminhões de água completam a frota dos equipamentos auxiliares.

3.6 Escala de produção

O conceito básico adotado pelo planejamento consiste em lavar seqüencialmente o minério contido em cada uma das fases de lavra, considerando o maior espaçamento vertical possível entre fases, para fornecer uma alimentação constante da planta com uma taxa anual de 15 milhões de toneladas.

3.7 Pilhas de estoque

Objetivando uma alimentação com os teores mais elevados nos primeiros anos de vida da mina, todo minério com teor inferior a 0.5 % de cobre esta sendo depositado em pilhas de estoque nos cinco primeiros anos, para posterior retomada nos anos seguintes.

3.8 Otimização e Operacionalização de Cavas

3.8.1 Metodologia

Será utilizada metodologia tradicional de otimização de limites de cava, seqüência de lavra e teor de corte que é aceita na indústria de mineração de cobre.

O software “Whittle Four-X[®]”, será utilizado para definição econômica dos limites da cava final e seqüência ótima de lavra. O sistema utiliza o algoritmo de Lerchs-Groissmann para o desenho ótimo de cava. Para definição da estratégia ótima de teor de corte será utilizado o programa “Lane”.

Em todos os valores de custos unitários, e VPL (Valor presente líquido) informados nesta dissertação foram aplicados um fator de correção, com o objetivo de não expor dados reais de custos e rentabilidade da CVRD (Companhia Vale do Rio Doce). Logo, estes valores não são valores absolutos reais.

3.8.2 Histórico

No Estudo de Viabilidade de maio de 2001 obteve-se 190,8 Mt de minério @ 1.0 %Cu & 0,29 g/t Au - 13 anos, a partir de uma otimização descontada para um preço de cobre de 0.90 US\$/lb. Resultado de um custo incremental de 0.80 US\$/lb.

Em outubro de 2001 no estudo da "Fase extra" as reservas aumentaram para 221,0 Mt de minério @ 0,98 %Cu & 0,29 g/t Au - 15 anos, com o acréscimo de uma fase extra no pit de viabilidade. Utilizou-se como critério o custo incremental de 0.80 US\$/lb.

Na otimização de Setembro 2002 se manteve o critério de custo incremental de 0.80 US\$/lb para uma otimização clássica e houve o redesenho das fases, o que permitiu recuperar 245,1 Mt @ 0,97 %Cu & 0,28 g/t Au - 17 anos de vida útil da mina.

Na otimização de agosto 2003 houve alteração no custo incremental, passando este a ser considerado 0.75 US\$/lb para uma otimização clássica e houve o redesenho das fases, o que permitiu recuperar 244.7 Mt @ 0,97 %Cu & 0,25 g/t Au - 17 anos de vida útil

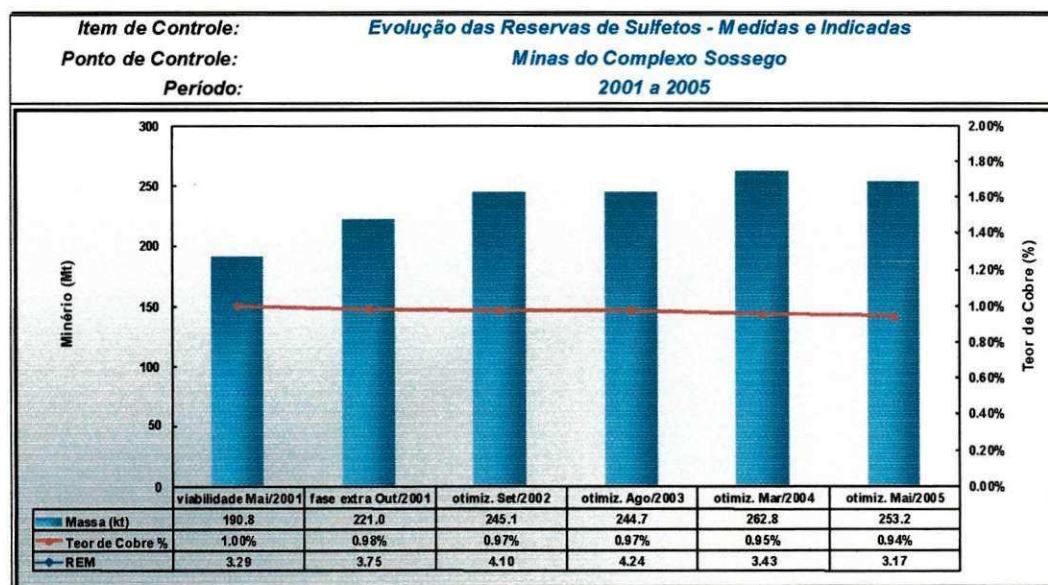


Figura 3.4. Evolução das Reservas de Sulfetos – medidos e indicados

Na otimização de março de 2004, adotou-se um valor de custo incremental de 0.80 US\$/lb para uma otimização clássica, resultando em reservas de 262.8 Mt @ 0.95 %Cu & 0,27 g/t Au .

Considerando o levantamento topográfico de dez/2004 e com o crescente aumento dos custos operacionais estabeleceu-se na otimização em maio de 2005 uma diminuição de reserva da cava matemática para o valor de 253,15 Mt @ 0.94%Cu & 0,26 g/t Au. Adotamos um custo incremental de 0.87 US\$/lb

3.8.3 Modelo de blocos dos recursos de minério

3.8.3.1 Dimensão do modelo e parâmetros

O sistema de coordenadas do modelo está disponibilizado em UTM, cobrindo uma área localizada entre 9289300N a 9291800N e 601000E a 606300E; elevação de -624m s.n.m a 280m s.n.m. A dimensão dos blocos usados no modelo é de 10x10x16m.

Os atributos do modelo para cada um dos blocos são: teores de cobre e ouro, classificação de recursos, densidade e outros códigos para diferentes tipos de rocha e características.

Densidades: No modelo de densidade, considera-se valores variáveis, com médias de 2,95t/m³ para material sulfetado, 2,6t/m³ para materiais oxidados e da zona de transição e 1,426 t/m³ para o saprolito (todos os valores são base seca).

3.8.3.2 Atualização dos recursos geológicos

Na primeira quinzena de março de 2005 houve o término da atualização dos recursos geológicos.

As tabelas seguintes apresentam os recursos minerais em faixas de teor de corte , detalhando os sulfetados, oxidados e mistos por categoria. O modelo de blocos

10x10x16 metros encontra-se completo, o modelo 10x10x08 metros encontra-se limitado inferiormente no nível 200.

SULFETOS AVALIAÇÃO 2005 MODELO 16 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	622,225.33	0.58	0.16	1,187,645.76	0.44	0.12
0.2	460,646.38	0.76	0.21	814,346.46	0.61	0.16
0.4	288,494.07	1.03	0.28	438,569.23	0.87	0.23
0.6	182,734.26	1.35	0.36	204,429.56	1.33	0.35
0.8	141,974.55	1.54	0.41	154,813.35	1.54	0.41
1.0	114,672.54	1.69	0.46	125,027.34	1.68	0.46
Sossego						
0.0	62,489.21	0.72	0.23	137,810.40	0.56	0.18
0.2	50,587.08	0.87	0.27	100,780.15	0.74	0.23
0.4	41,848.32	1.00	0.31	75,846.36	0.88	0.27
0.6	31,476.27	1.16	0.35	49,699.76	1.08	0.32
0.8	22,307.04	1.35	0.39	33,103.98	1.28	0.36
1.0	14,967.74	1.58	0.45	20,939.50	1.51	0.42
Total Sulfetos						
0.0	684,714.54	0.59	0.17	1,325,456.16	0.45	0.12
0.2	511,233.46	0.77	0.22	915,126.62	0.62	0.17
0.4	330,342.38	1.03	0.28	514,415.59	0.87	0.23
0.6	214,210.53	1.32	0.36	254,129.31	1.28	0.35
0.8	164,281.59	1.51	0.41	187,917.33	1.49	0.40
1.0	129,640.28	1.68	0.46	145,966.84	1.66	0.45

OXIDOS AVALIAÇÃO 2005 MODELO 16 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	27,073.76	0.49	-	29,548.17	0.47	-
0.2	18,327.34	0.68	-	19,753.28	0.66	-
0.4	12,634.97	0.86	-	13,475.77	0.84	-
0.6	6,297.22	1.23	-	6,353.95	1.23	-
0.8	3,794.84	1.59	-	3,800.42	1.59	-
1.0	2,655.16	1.90	-	2,655.16	1.90	-
Sossego						
0.0	19,770.91	0.66	-	20,227.09	0.65	-
0.2	16,645.09	0.76	-	16,832.72	0.76	-
0.4	12,883.96	0.90	-	12,966.24	0.90	-
0.6	9,202.33	1.07	-	9,247.04	1.07	-
0.8	5,766.16	1.29	-	5,784.64	1.29	-
1.0	3,519.20	1.55	-	3,531.42	1.55	-
Total Oxidos						
0.0	46,844.67	0.56	-	49,775.25	0.54	-
0.2	34,972.43	0.72	-	36,586.00	0.70	-
0.4	25,518.93	0.88	-	26,442.01	0.87	-
0.6	15,499.55	1.14	-	15,600.99	1.13	-
0.8	9,561.00	1.41	-	9,585.06	1.41	-
1.0	6,174.36	1.70	-	6,186.58	1.70	-

MISTOS AVALIAÇÃO 2005 MODELO 16 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	17,537.64	0.56	0.08	20,216.36	0.52	0.07
0.2	13,755.89	0.69	0.10	15,449.23	0.65	0.09
0.4	7,910.01	0.97	0.14	8,188.44	0.96	0.14
0.6	4,572.46	1.33	0.20	4,627.73	1.33	0.20
0.8	3,331.17	1.58	0.24	3,382.72	1.57	0.24
1.0	2,582.43	1.78	0.27	2,629.61	1.77	0.27
Sossego						
0.0	3,677.49	0.89	0.13	4,736.06	0.82	0.12
0.2	3,525.67	0.93	0.14	4,447.41	0.87	0.13
0.4	3,194.09	0.99	0.14	3,884.36	0.95	0.14
0.6	2,460.06	1.14	0.16	2,870.40	1.11	0.16
0.8	1,740.59	1.32	0.19	1,966.50	1.31	0.19
1.0	1,195.76	1.52	0.22	1,355.64	1.50	0.22
Total Mistos						
0.0	21,215.13	0.62	0.09	24,952.42	0.58	0.08
0.2	17,281.56	0.74	0.11	19,896.64	0.70	0.10
0.4	11,104.10	0.98	0.14	12,072.80	0.96	0.14
0.6	7,032.53	1.26	0.19	7,498.13	1.25	0.18
0.8	5,071.76	1.49	0.22	5,349.22	1.48	0.22
1.0	3,778.19	1.70	0.25	3,985.25	1.68	0.25

SULFETOS AVALIAÇÃO 2005 MODELO 08 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	4,818.36	0.73	0.19	6,119.81	0.61	0.16
0.2	3,956.98	0.87	0.23	4,489.76	0.80	0.21
0.4	2,402.71	1.23	0.32	2,491.40	1.20	0.31
0.6	1,604.94	1.60	0.41	1,604.94	1.60	0.41
0.8	1,329.56	1.79	0.46	1,329.56	1.79	0.46
1.0	1,121.00	1.96	0.50	1,121.00	1.96	0.50
Sossego						
0.0	2,000.59	0.78	0.25	3,538.21	0.61	0.18
0.2	1,728.32	0.89	0.28	2,618.14	0.79	0.24
0.4	1,434.49	1.01	0.32	2,019.77	0.94	0.28
0.6	1,040.03	1.20	0.37	1,340.89	1.16	0.34
0.8	774.89	1.38	0.41	938.04	1.36	0.38
1.0	578.56	1.55	0.47	695.53	1.53	0.43
Total Sulfetos						
0.0	6,818.96	0.74	0.21	9,658.02	0.61	0.17
0.2	5,685.31	0.88	0.25	7,107.90	0.80	0.22
0.4	3,837.21	1.15	0.32	4,511.17	1.08	0.30
0.6	2,644.97	1.44	0.39	2,945.84	1.40	0.38
0.8	2,104.44	1.64	0.44	2,267.59	1.61	0.43
1.0	1,699.56	1.82	0.49	1,816.53	1.80	0.47

OXIDOS AVALIAÇÃO 2006 MODELO 08 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	22,627.30	0.57	-	24,646.31	0.55	-
0.2	17,530.84	0.71	-	18,998.68	0.69	-
0.4	12,055.72	0.90	-	12,756.65	0.88	-
0.6	6,184.61	1.29	-	6,254.95	1.28	-
0.8	3,832.41	1.66	-	3,850.40	1.66	-
1.0	2,715.87	1.98	-	2,715.87	1.98	-
Sossego						
0.0	16,642.49	0.81	-	16,892.09	0.80	-
0.2	15,701.69	0.85	-	15,815.78	0.85	-
0.4	14,087.06	0.91	-	14,166.45	0.91	-
0.6	9,962.53	1.08	-	10,010.36	1.08	-
0.8	6,279.33	1.30	-	6,310.99	1.30	-
1.0	3,764.23	1.58	-	3,784.08	1.58	-
Total Oxidados						
0.0	39,269.79	0.67	-	41,538.39	0.65	-
0.2	33,232.53	0.78	-	34,814.46	0.76	-
0.4	26,142.78	0.91	-	26,923.11	0.89	-
0.6	16,147.14	1.16	-	16,265.31	1.16	-
0.8	10,111.74	1.44	-	10,161.38	1.44	-
1.0	6,480.10	1.75	-	6,499.95	1.75	-

MISTOS AVALIAÇÃO 2006 MODELO 08 M						
Teor de Corte (Cu%)	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	3,772.85	0.83	0.11	4,016.87	0.80	0.11
0.2	3,325.31	0.92	0.12	3,518.63	0.89	0.12
0.4	2,253.02	1.21	0.15	2,286.98	1.20	0.15
0.6	1,569.28	1.53	0.19	1,569.28	1.53	0.19
0.8	1,264.25	1.73	0.22	1,264.25	1.73	0.22
1.0	1,032.99	1.92	0.25	1,032.99	1.92	0.25
Sossego						
0.0	2,112.29	0.85	0.12	2,460.86	0.82	0.12
0.2	2,042.15	0.88	0.12	2,361.84	0.86	0.12
0.4	1,831.35	0.94	0.13	2,085.39	0.93	0.13
0.6	1,334.27	1.10	0.15	1,500.50	1.09	0.15
0.8	906.78	1.30	0.18	1,002.32	1.29	0.18
1.0	598.78	1.51	0.21	662.23	1.49	0.21
Total Mistos						
0.0	5,885.14	0.84	0.11	6,477.72	0.81	0.11
0.2	5,367.46	0.90	0.12	5,880.46	0.88	0.12
0.4	4,084.37	1.09	0.14	4,372.37	1.07	0.14
0.6	2,903.56	1.33	0.17	3,069.78	1.31	0.17
0.8	2,171.02	1.55	0.20	2,266.57	1.54	0.20
1.0	1,631.77	1.77	0.24	1,695.22	1.75	0.24

Comparando os modelos de 16 metros de 2005 e 2004 temos:

Teor de Corte (Cu%)	SULFETOS - Modelo de 16 m (2005 -2004)/2004					
	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
Sequeirinho	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
0.0	3.2%	0.3%	3.7%	3.3%	0.0%	3.5%
0.2	2.6%	1.6%	5.2%	1.7%	1.7%	5.7%
0.4	6.9%	-0.9%	0.6%	6.0%	0.2%	1.3%
0.6	16.3%	-6.3%	-7.4%	18.9%	-6.7%	-7.1%
0.8	14.3%	-6.1%	-8.0%	15.9%	-6.3%	-7.1%
1.0	8.2%	-4.5%	-4.6%	10.0%	-4.7%	-3.8%
Sossego						
0.0	-5.6%	1.0%	12.0%	4.0%	-3.6%	6.5%
0.2	-4.4%	0.0%	7.6%	2.1%	-1.2%	6.0%
0.4	-2.7%	-0.1%	6.9%	2.6%	-1.0%	6.5%
0.6	-2.2%	-0.8%	2.7%	2.3%	-1.3%	2.5%
0.8	-0.6%	-1.9%	-2.7%	3.3%	-2.2%	-2.8%
1.0	0.0%	-2.3%	-4.5%	-0.1%	-1.3%	-2.8%
Total Sulfetos						
0.0	2.3%	0.2%	4.5%	3.4%	-0.5%	4.0%
0.2	1.9%	1.3%	5.3%	1.7%	1.3%	5.8%
0.4	5.6%	-0.7%	1.4%	5.5%	0.0%	2.1%
0.6	13.2%	-5.2%	-5.8%	15.2%	-5.3%	-5.1%
0.8	12.0%	-5.4%	-7.2%	13.5%	-5.3%	-6.2%
1.0	7.2%	-4.2%	-4.5%	8.4%	-4.1%	-3.5%

Teor de Corte (Cu%)	MISTOS - Modelo de 16 m (2005 -2004)/2004					
	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
Sequeirinho	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
0.0	5.2%	-5.3%	-27.3%	2.8%	-4.7%	-25.1%
0.2	2.1%	-2.3%	-24.3%	0.1%	-2.0%	-22.9%
0.4	4.0%	-4.5%	-28.5%	0.6%	-3.1%	-26.6%
0.6	5.5%	-6.1%	-28.7%	4.2%	-5.6%	-28.1%
0.8	3.7%	-5.5%	-27.2%	3.8%	-5.7%	-27.3%
1.0	0.9%	-4.9%	-26.1%	0.9%	-5.0%	-26.2%
Sossego						
0.0	-15.8%	6.1%	-14.6%	-11.5%	5.0%	-15.1%
0.2	-11.2%	2.1%	-15.5%	-7.3%	1.5%	-16.2%
0.4	-4.4%	-3.5%	-25.7%	-0.3%	-3.7%	-25.3%
0.6	-3.1%	-4.1%	-25.2%	0.6%	-4.4%	-25.3%
0.8	-1.0%	-6.1%	-24.3%	2.0%	-6.1%	-24.8%
1.0	-3.6%	-6.1%	-27.1%	2.8%	-7.5%	-28.0%
Total Mistos						
0.0	0.9%	-4.0%	-25.4%	-0.3%	-3.2%	-23.4%
0.2	-0.9%	-1.9%	-22.6%	-1.7%	-1.4%	-21.4%
0.4	1.4%	-4.2%	-27.6%	0.3%	-3.3%	-26.2%
0.6	2.3%	-5.2%	-27.3%	2.8%	-5.0%	-27.0%
0.8	2.0%	-5.6%	-26.2%	3.1%	-5.8%	-26.5%
1.0	-0.6%	-5.1%	-26.3%	1.5%	-5.8%	-26.8%

Teor de Corte (Cu%)	OXIDOS - Modelo de 16 m (2005 -2004)/2004					
	Medido+ Indicado			Medido + Indicado + Inferido		
	Kt	Cu%	Au ppm	Kt	Cu%	Au ppm
Sequeirinho						
0.0	30.7%	-3.3%	-	11.9%	1.8%	-
0.2	32.1%	-5.0%	-	13.4%	0.2%	-
0.4	33.1%	-5.0%	-	18.2%	-1.1%	-
0.6	20.7%	-1.0%	-	13.5%	1.0%	-
0.8	18.6%	-0.2%	-	15.9%	-0.1%	-
1.0	19.3%	0.0%	-	16.6%	0.2%	-
Sossego						
0.0	-9.4%	13.9%	-	-16.4%	17.4%	-
0.2	5.4%	-0.8%	-	-2.0%	1.6%	-
0.4	5.0%	0.1%	-	-1.6%	2.2%	-
0.6	10.0%	-1.6%	-	5.8%	-0.4%	-
0.8	4.9%	-0.3%	-	3.0%	0.3%	-
1.0	5.9%	-0.5%	-	5.3%	-0.2%	-
Total Oxidos						
0.0	10.1%	3.3%	-	-1.7%	7.4%	-
0.2	17.9%	-3.3%	-	5.8%	0.4%	-
0.4	17.2%	-2.4%	-	7.6%	0.4%	-
0.6	14.1%	-1.1%	-	8.8%	0.4%	-
0.8	10.0%	0.4%	-	7.8%	0.8%	-
1.0	11.3%	0.3%	-	9.9%	0.5%	-

Verifica-se acima um aumento de recursos geológicos nos sulfetos e nos mistos do setor Sequeirinho e nos óxidos dos óxidos nos setores Sequeirinho e Sossego.

3.8.4 Parâmetros de Otimização

3.8.4.1 Geotecnia

Os estudos geotécnicos realizados pela Golder Associates Brasil no Complexo Sossego iniciaram-se em 1999 e progrediram até 2001. Esses estudos foram parte integrante dos projetos de viabilidade e básico e geraram os parâmetros utilizados para otimização da cava em janeiro de 2005. As tabela 3.1 e 3.2 mostram os ângulos adotados. Além disso, esses estudos embasam também os trabalhos relativos aos depósitos de estéril, pilhas de minério, barragem de rejeito e instalações industriais.

Tabela 3.1 – Ângulos de taludes para classe de maciço I-II – Cava Sequeirinho

Ângulo	Grupo do granitos	Grupo dos biotita-xistos	
		Azimute ~ 285° a ~ 075°	Azimute ~ 240° a ~ 285° e ~ 075° A ~ 120°
Bancada	75°	65°	60°
Entre rampas	61°	56°	54°
Global	55°	52°	50°

Tabela 3.2 – Ângulos de taludes para classe de maciço I-II – Cava Sequeirinho

Ângulo	Grupo dos granitos	Grupo dos biotita-xistos
Bancada	75°	65°
Entre rampas	61°	56°
Global	55°	52°

Ângulos de Taludes Segundo Classificação Geomecânica

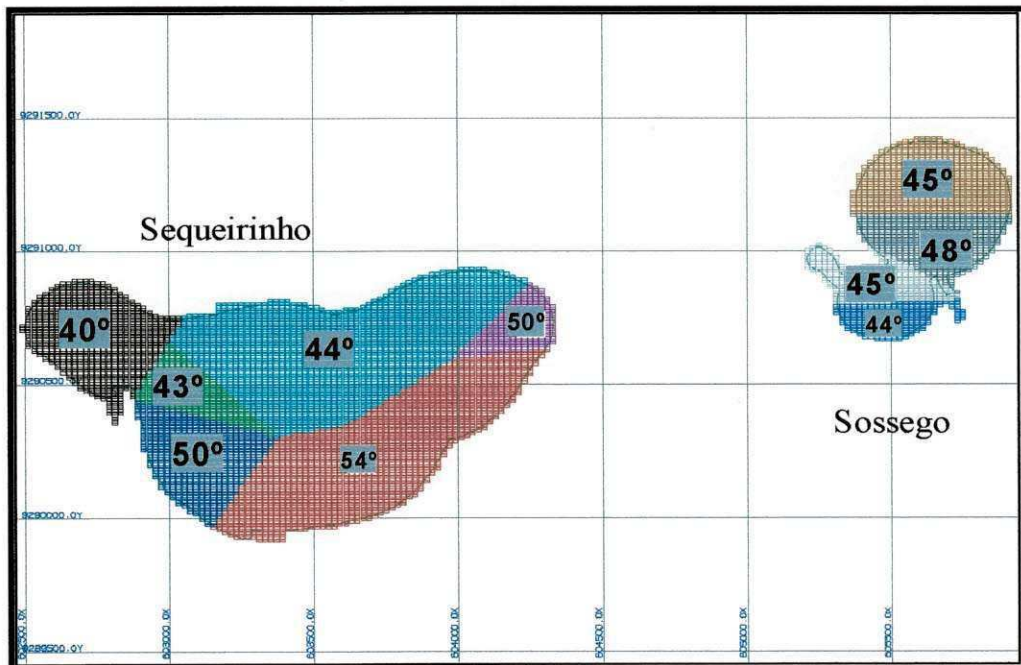


Figura 3.5 – Ângulos de taludes do Complexo Sossego

3.8.4.2 Preços de Venda

Para fins de otimização e análise dos resultados, consideraram-se os mesmos preços de 2004:

- ✓ Cobre - 1,00 US\$/lb pagável
- ✓ Ouro - 360 US\$/oz

3.8.4.3 Custos Unitários Atualizados:

As tabelas abaixo mostram os resumos das estimativas mais atualizadas para os custos da mina, custos do processo, administração, transporte do concentrado, custos de venda do concentrado e dados metalúrgicos.

Os valores de custos relatados a seguir foram corrigidos com um fator e não são valores absolutos reais do Complexo Sossego.

3.8.4.4 Custos da mina

Operações Unitárias	US\$/t minério	US\$/t estéril
Perfuração	0.0613	0.0613
Detonação	0.1537	0.1537
Carregamento	0.0821	0.0821
Mão de Obra	0.0817	0.0817
Apoio e Outros	0.1180	0.1180
Transporte Fixo	0.1432	0.1432
Subtotal	0.6400	0.6400
Transporte Variável	0.0178	0.0178
Reinvestimentos & Reposições	0.2010	0.1350
TOTAL	0.8410	0.7750

O transporte fixo refere-se ao maior custo de transporte fora da cava.

Estabeleceu-se um adicional de transporte por aumento de profundidade da mina a cada 16 m:

Adicional de Transporte por aumento de profundidade	unidade	minério	Estéril
	cUS\$/t/16m	1,780	1,780

Estes adicionais de transporte encontram-se incorporados acumulativamente ao modelo de blocos através do arquivo MCAF (Mining Costs Adjustment Factor) a partir do nível 200.

3.8.4.5 Custos do Processo

3.8.4.5.1 Flotação

ítem	unidade	Sequeirinho & Sossego
Recuperação de Cobre - sulfetos	%	$(1.582 \times \text{Ln}(\text{Cu}\%) + 95.302) \times 0.974$
Recuperação de Cobre - misto	%	50%
Recuperação de Ouro	%	80%
Custo do Processo Flotação	US\$/t	3,400
Capacidade Máxima da Planta	Mt/ano	15

3.8.4.5.2 Lixiviação

ítem	unidade	Sequeirinho	Sossego
Recuperação na Lixiviação	%	0.95%	
Recuperação após descarte de finos			
Oxidado Vermelho	%	69,40%	83,39%
Oxidado Verde	%	88,05%	
Misto para Lixiviação	%	93,40%	
Custo do Proc. Lixiviação Saprolito	US\$/t	3.592	
Custo do Proc. Lixiviação Óxidos & Mistos p/ Lixiviação	US\$/t	3.696	

3.8.4.6 Custos de Transporte de Concentrado

ítem	unidade	Sequeirinho & Sossego (sulfetos)
Transporte Rodoviário p/ Parauapebas	US\$/t.úmida	6.61
Carregamento do Trem	US\$/t.úmida	0.59
Transporte Ferroviário p/ São Luís do Maranhão	US\$/t.úmida	6.91
Embarque em São Luís	US\$/t.úmida	2.53
Transporte Marítimo	US\$/t.úmida	43.25
Custo Total de Transporte do Concentrado	US\$/t.úmida	59,89

A fim de transformar o valor do transporte do concentrado em US\$/lb pagáveis, devemos considerar os seguintes parâmetros:

ítem	unidade	Sequeirinho & Sossego (sulfetos)
Teor de concentrado	%	30,0%
Perda no transporte	%	0,5%
Redução Metalúrgica	%	96,64%
Umidade	%	9,0%

ton conc = 2204.62 x 30% x (100.0-0.5)% x 96.64% (lb pagável) = 634,97 lb pagável

Efetuando as conversões temos:

ítem	unidade	úmida	seca
Transporte Rodoviário p/ Parauapebas	US\$/lb pagável	0.0104	0.0114
Carregamento do Trem	US\$/lb pagável	0.0009	0.0010
Transporte Ferroviário p/ São Luís do Maranhão	US\$/lb pagável	0.0109	0.0119
Embarque em São Luís	US\$/lb pagável	0.0040	0.0044
Transporte Marítimo	US\$/lb pagável	0.0680	0.0747
Custo Total de Transporte do Concentrado	US\$/lb pagável	0.0942	0.1035

3.8.4.7 Custos de Fundição

ítem	unidade	Sequeirinho & Sossego (sulfetos)
Teor de Concentrado	%	30,0%
Recuperação de Cu na fundição	%	96,64%
Recuperação de Au na fundição	%	93,45%
Custo de Tratamento (TC)	US\$/t.seca	85,00
Custo de Refino Cu (RC)	US\$/lb Cu	0,095
Custo de Refino Au	US\$/oz Au	2,27
Custo de venda do Cobre	US\$/lb	0,3321
Custo de venda do Ouro	US\$/oz	2,27

3.8.4.8 Custos de G&A e Meio Ambiente

ítem	unidade	Sequeirinho & Sossego (sulfetos)
G&A & Meio Ambiente	US\$/t minério	0,67

3.8.5 Reservas Lavráveis – Otimização 2004

No mês março de 2004 realizou-se nova atualização das reservas lavráveis mediante o uso Whittle Four-X[®]. Este exercício permitiu mensurar as reservas lavráveis para 262,825 milhões de toneladas com uma razão estéril/minério de 3.46 – cone de otimização.

Resumo da otimização de Março 2004 – Cava Whittle
Sulfetos e Óxidos medidos e indicados

	Kt	%Cu	gpt Au
Reserva medida e indicada			
Sequeirinho	229,714	0.95	0.27
Sossego	26,513	0.98	0.30
Misto Flotação	6,598	0.90	0.21
Total	262,825	0.95	0.27
REM	3.46		
Óxidos	18,189	0.86	
Misto Lixiviação	3,508	0.86	0.11

Reserva Inferida			
Sequeirinho	1,691	0.63	0.14
Sossego	3,071	0.98	0.30
Misto Flotação	588	0.75	0.18
Total	5,350	0.84	0.24
Oxidos	1,375	0.60	-
Misto Lixiviação	306	0.57	0.05
Esteril	879,654		
Material Total	1,142,479		

Considerando topografia final de 2003

[AUSTRIAN 10090]

Efetou-se uma otimização teste no Whittle®, com o novo modelo de blocos de 2005, respeitando-se os mesmos parâmetros utilizados na otimização de 2004. A análise desta otimização é apresentado a seguir.

Pit	Preço US\$/lb	Total kt	REM	Minério			Metal Contido			Custo Total		Custo Incr US\$/lbEq	NPV KUSS
				kt	%CuT	gpt Au	t Cu	Oz Au	t CuEq	KUSS	US\$/lbEq		
1	0.20	1,233	0.00	1,231.50	2.221	0.090	19,418.97	9.00	19,420.44	7,657.97	0.18	0.18	35,155.18
2	0.22	1,762	0.00	1,759.42	2.068	0.377	25,655.87	122.69	25,675.90	10,769.93	0.19	0.23	45,830.23
3	0.24	2,430	0.00	2,425.16	1.909	0.283	32,373.01	145.10	32,396.70	14,470.89	0.20	0.25	56,941.18
4	0.26	3,149	0.00	3,142.57	1.781	0.282	38,716.29	145.42	38,740.04	18,314.09	0.21	0.27	67,080.70
5	0.28	3,798	0.00	3,790.17	1.693	0.275	44,104.31	170.43	44,132.14	21,766.42	0.22	0.29	75,511.73
6	0.30	4,628	0.01	4,582.47	1.604	0.264	50,100.70	191.30	50,131.94	25,922.68	0.23	0.31	84,577.89
7	0.32	5,158	0.02	5,080.93	1.554	0.257	53,595.79	211.46	53,630.32	28,500.93	0.24	0.33	89,707.93
8	0.34	5,832	0.02	5,735.05	1.498	0.364	58,105.94	492.62	58,186.38	32,063.18	0.25	0.35	96,171.30
9	0.36	6,892	0.02	6,771.89	1.551	0.776	72,786.37	9,585.15	74,351.56	44,930.39	0.27	0.36	118,498.01
10	0.38	9,892	0.06	9,318.72	1.593	0.623	107,041.97	30,923.03	112,091.50	77,418.59	0.31	0.39	166,924.45
11	0.40	15,596	0.15	13,554.07	1.575	0.556	158,781.43	66,334.89	169,613.48	129,468.95	0.35	0.41	234,969.57
12	0.42	26,213	0.26	20,810.92	1.463	0.509	232,559.70	127,667.59	253,406.98	210,587.18	0.38	0.44	320,232.24
13	0.44	41,867	0.41	29,671.52	1.375	0.465	318,561.55	198,070.38	350,905.15	310,336.38	0.40	0.46	411,836.94
14	0.46	57,497	0.53	37,604.95	1.322	0.439	392,727.07	253,781.47	434,167.92	398,063.27	0.42	0.48	487,853.17
15	0.48	71,386	0.62	43,943.35	1.292	0.421	451,255.48	295,067.29	499,438.04	468,926.46	0.43	0.49	541,262.11
16	0.50	92,526	0.75	52,816.05	1.245	0.399	526,453.17	351,636.69	583,873.14	565,467.42	0.44	0.52	607,365.21
17	0.52	157,213	1.02	78,003.75	1.165	0.359	740,844.96	512,576.34	824,545.32	849,773.02	0.47	0.54	761,106.71
18	0.54	198,747	1.13	93,278.41	1.131	0.341	862,296.78	593,437.45	959,201.23	1,016,487.14	0.48	0.56	831,295.00
19	0.56	268,214	1.36	113,561.21	1.106	0.328	1,032,866.52	711,882.78	1,149,112.31	1,256,827.67	0.50	0.57	918,727.77
20	0.58	303,003	1.45	123,469.81	1.094	0.321	1,112,926.69	764,330.48	1,237,736.85	1,371,300.30	0.50	0.59	952,259.30
21	0.60	340,588	1.55	133,767.27	1.080	0.314	1,191,632.91	817,433.53	1,325,114.45	1,489,632.40	0.51	0.61	983,346.59
22	0.62	399,841	1.73	146,680.64	1.070	0.308	1,298,295.30	888,293.16	1,443,347.75	1,652,691.21	0.52	0.63	1,019,713.62
23	0.64	479,030	1.89	165,655.30	1.048	0.301	1,441,604.91	992,110.41	1,603,610.04	1,879,951.31	0.53	0.64	1,060,196.07
24	0.66	598,725	2.12	192,075.73	1.021	0.291	1,633,796.45	1,126,935.63	1,817,817.65	2,194,048.98	0.55	0.67	1,102,775.51
25	0.68	674,577	2.25	207,360.45	1.011	0.287	1,749,624.13	1,207,873.93	1,946,862.03	2,387,116.64	0.56	0.68	1,124,044.56
26	0.70	761,616	2.39	224,722.19	0.998	0.282	1,875,401.32	1,299,889.62	2,087,664.78	2,605,854.39	0.57	0.70	1,142,928.35
27	0.72	849,693	2.50	242,531.46	0.982	0.278	1,992,858.27	1,386,712.38	2,219,299.31	2,814,722.36	0.58	0.72	1,157,451.17
28	0.74	1,039,701	2.81	272,861.64	0.968	0.274	2,217,709.49	1,551,932.61	2,471,129.92	3,227,532.98	0.59	0.74	1,177,871.14
29	0.76	1,072,610	2.83	280,121.73	0.961	0.272	2,261,175.07	1,584,882.71	2,519,976.03	3,309,246.86	0.60	0.76	1,180,851.45
30	0.78	1,104,749	2.88	284,868.26	0.959	0.271	2,294,451.87	1,608,966.85	2,557,185.61	3,372,904.56	0.60	0.78	1,183,343.13
31	0.80	1,162,379	2.92	296,777.23	0.948	0.266	2,363,513.91	1,651,683.44	2,633,222.99	3,506,453.00	0.60	0.80	1,187,421.94
32	0.82	1,200,115	2.96	303,369.99	0.943	0.265	2,404,053.11	1,680,993.96	2,678,548.41	3,587,748.29	0.61	0.81	1,189,506.33
33	0.84	1,255,763	3.02	312,107.48	0.937	0.263	2,460,126.14	1,718,380.51	2,740,726.42	3,701,799.32	0.61	0.83	1,191,879.02
34	0.86	1,282,359	3.05	316,424.26	0.933	0.262	2,485,032.35	1,736,867.63	2,768,651.45	3,754,363.64	0.62	0.85	1,192,760.92
35	0.88	1,311,759	3.09	320,606.25	0.931	0.261	2,510,878.15	1,757,248.11	2,797,825.25	3,810,539.46	0.62	0.87	1,193,500.89
36	0.90	1,358,478	3.14	328,474.27	0.924	0.258	2,554,831.96	1,785,197.92	2,846,343.08	3,905,549.47	0.62	0.89	1,194,536.26
37	0.92	1,395,062	3.17	334,738.40	0.918	0.256	2,588,751.83	1,808,816.16	2,884,119.66	3,981,793.84	0.63	0.92	1,195,124.80
38	0.94	1,421,808	3.20	338,420.88	0.916	0.256	2,610,880.97	1,824,394.43	2,908,792.63	4,032,441.19	0.63	0.93	1,195,407.43
39	0.96	1,470,749	3.27	344,363.28	0.912	0.255	2,647,064.84	1,852,848.50	2,949,622.86	4,117,914.30	0.63	0.95	1,195,737.84
40	0.98	1,496,978	3.29	348,817.59	0.908	0.253	2,668,486.59	1,866,665.31	2,973,300.80	4,168,415.30	0.64	0.97	1,195,836.00
41	1.00	1,569,724	3.37	358,971.21	0.899	0.251	2,721,271.26	1,907,644.12	3,032,777.04	4,298,320.43	0.64	0.99	1,195,801.48
42	1.02	1,587,964	3.39	361,335.97	0.897	0.250	2,734,528.39	1,916,697.84	3,047,512.59	4,331,099.32	0.64	1.01	1,195,750.33
43	1.04	1,642,100	3.45	368,951.29	0.891	0.248	2,771,929.99	1,945,353.66	3,089,493.50	4,426,457.42	0.65	1.03	1,195,443.65
44	1.06	1,707,345	3.53	376,714.35	0.885	0.247	2,813,170.29	1,974,864.68	3,135,652.75	4,533,255.15	0.66	1.05	1,195,028.58
45	1.08	1,723,323	3.55	378,867.52	0.883	0.246	2,824,174.58	1,982,005.85	3,147,823.15	4,561,933.14	0.66	1.07	1,194,898.74
46	1.10	1,757,942	3.59	383,126.20	0.880	0.245	2,845,500.09	1,998,510.69	3,171,843.79	4,619,610.41	0.66	1.09	1,194,572.38
47	1.12	1,765,351	3.59	384,208.38	0.879	0.245	2,850,417.85	2,001,795.39	3,177,297.92	4,632,939.13	0.66	1.11	1,194,484.16
48	1.14	1,804,274	3.63	389,455.85	0.874	0.243	2,873,819.53	2,017,570.68	3,203,275.60	4,697,721.14	0.67	1.13	1,193,998.29
49	1.16	1,847,307	3.69	394,001.33	0.871	0.242	2,897,926.53	2,033,616.47	3,230,002.77	4,765,421.06	0.67	1.15	1,193,459.21
50	1.18	1,872,984	3.72	396,406.47	0.870	0.242	2,911,929.80	2,043,516.51	3,245,622.66	4,805,622.29	0.67	1.17	1,193,121.41
51	1.20	1,942,179	3.81	403,360.45	0.866	0.241	2,948,549.03	2,070,644.02	3,286,671.63	4,913,317.48	0.68	1.19	1,192,119.24
52	1.22	1,957,896	3.83	405,384.95	0.863	0.240	2,956,454.16	2,076,408.03	3,295,517.99	4,937,099.22	0.68	1.22	1,191,872.95
53	1.24	2,029,271	3.91	413,246.18	0.857	0.238	2,992,423.23	2,101,506.48	3,335,585.47	5,045,848.70	0.69	1.23	1,190,763.21
54	1.26	2,077,878	3.97	417,909.09	0.854	0.237	3,016,457.78	2,117,311.10	3,362,200.81	5,119,735.61	0.69	1.26	1,189,969.98
55	1.28	2,158,036	4.10	423,434.23	0.852	0.236	3,049,481.79	2,143,265.57	3,399,463.01	5,224,078.34	0.70	1.27	1,188,867.79

Tabela 3.3 - Otimização dos resultados da Cava Teste - Sulfetos e Óxidos medidos e indicados .

Resumo da otimização Teste

Modelo 2005 & parâmetros utilizados na otimização de 2004 - Cava teste

Whittle

	Kt	%Cu	gpt Au
Reserva medida e indicada			
Sequeirinho	240,868	0.96	0.27
Sossego	25,363	1.00	0.30
Misto Flotação	6,311	0.86	0.18
Total	272,542	0.96	0.27
REM	3.38		
Óxidos	20,463	0.84	
Misto Lixiviação	3,772	0.86	0.04
Reserva Inferida			
Sequeirinho	2,110	0.75	0.2
Sossego	3,725	0.57	0.15
Misto Flotação	661	0.77	0.13
Total	6,496	0.65	0.17
Oxidos	169	0.64	-
Misto Lixiviação	199	0.57	0.06
Esteril	889,837		
Material Total	1,162,379		

Considerando topografia final de 2003

Comparando os dois resultados, ou seja, efetuando (2005-2004)/2004 (%) verificou-se um aumento total de reservas no novo modelo de blocos .

	Kt	%Cu	gpt Au
Reserva medida e indicada			
Sequeirinho	4.86%	1.05%	-1.85%
Sossego	-4.34%	2.04%	1.33%
Misto Flotação	-4.35%	-4.44%	-13.33%
Total	3.70%	1.01%	-1.77%
REM	-2.23%		
Óxidos	12.50%	-2.33%	
Misto Lixiviação	7.53%	0.00%	-63.64%
Reserva Inferida			
Sequeirinho	24.78%	19.05%	42.86%
Sossego	21.30%	-41.84%	-49.00%
Misto Flotação	12.41%	2.67%	-26.67%
Total	21.42%	-23.13%	-29.68%
Oxidos	-87.71%	6.67%	
Misto Lixiviação	-34.97%	0.00%	20.00%
Esteril	1.16%		
Material Total	1.74%		

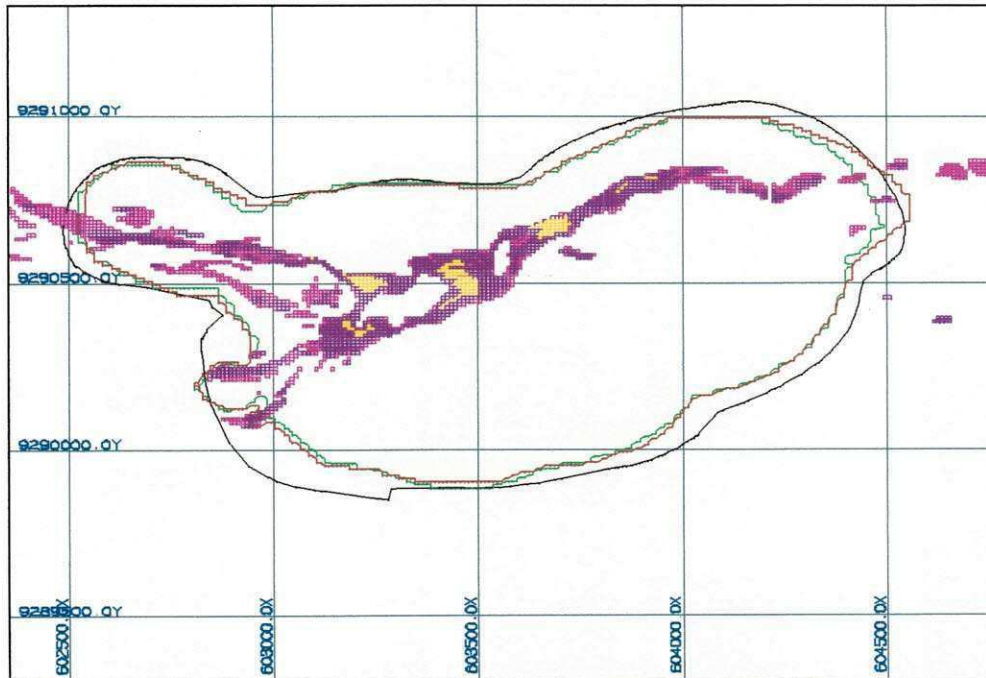


Figura 3.6 – Planta cava do Sequeirinho – nível 152

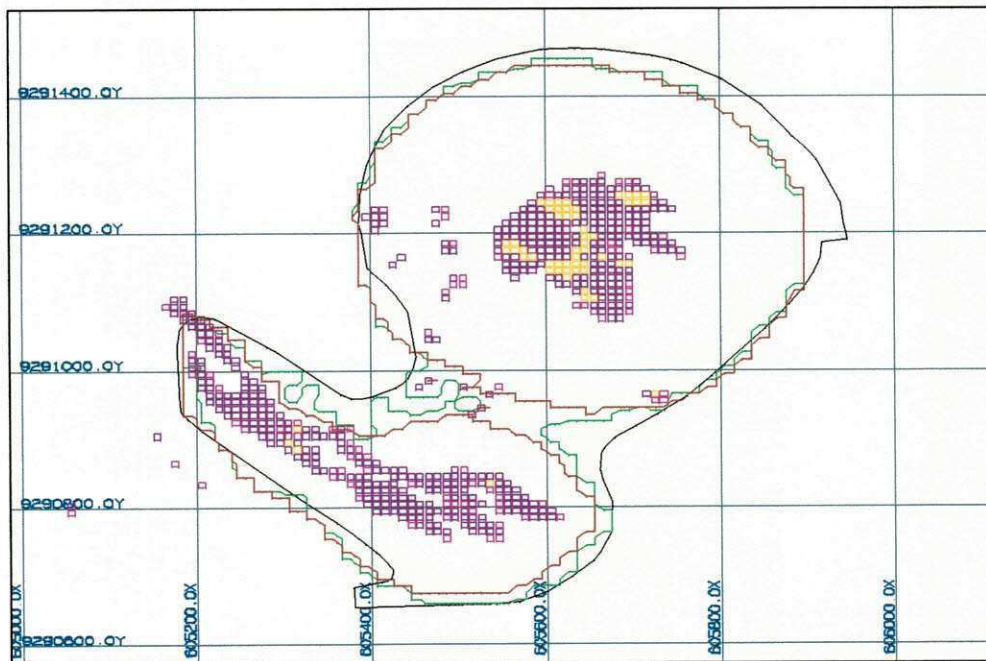


Figura 3.7 – Planta cava do Sossego – nível 168

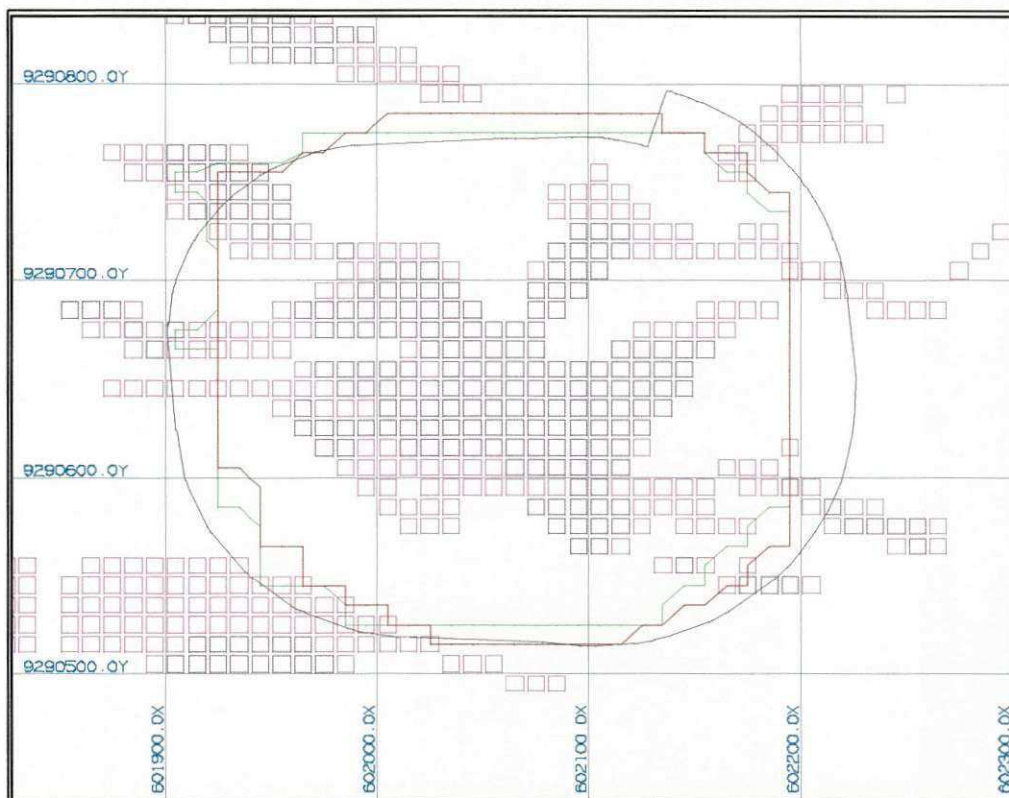


Figura 3.8 – Planta cava Setor Pista – nível 136

Na cava do Sequeirinho nota-se um aumento a leste da cava matemática teste (em vermelho). Nas cavas do Sossego e Pista não nota-se nenhuma modificação.

3.8.6 Determinação da Envoltente Final

O processo de otimização foi realizado através do uso do sistema Whittle Four-X[®], já utilizado no projeto do Sossego desde o estudo de viabilidade, e que corresponde à implementação computacional do algoritmo de Lerchs-Grossmann (teoria descrita no capítulo anterior) para o desenho ótimo das cavas.

Com o objetivo de analisar todos os potenciais do jazimento, foram realizadas para o Complexo Sossego as otimizações abaixo descritas. O que diferencia uma otimização de outra, são os recursos a serem identificados pelo Whittle[®] como minério para a geração das envoltentes ótimas.

Para o Complexo Sossego considerou-se as seguintes otimizações para as análises de 2005 :

1. Sulfetos medidos e indicados - Método da Cava Descontada
2. Sulfetos medidos e indicados - Método Clássico
3. Sulfetos e Óxidos medidos e indicados - Método Clássico
4. Sulf.& Óxidos medidos, indicados e inferidos - Método Clássico

Este ano incluiu-se na análise um fator de diluição na lavra de 1.08 que significa um percentual de 8% de diluição. Quando se lava na borda de um corpo mineralizado, pode ser difícil evitar a lavra do estéril (contaminação). Este estéril dilui o teor do material que será processado (minério). O fator de diluição permite que se aplique a diluição no processo de extração.

A diluição é realizada através do aumento de massa das parcelas mineralizadas, compensada pela massa de estéril no bloco em questão

O método da cava descontada é uma pequena modificação do método clássico do *Whittle Four-X[®]*, em que há a inclusão do valor do dinheiro no tempo para definir a envoltória ótima final. Para isso é necessário modificar a densidade do modelo de blocos no Gemcom[®] e importar novamente para Whittle[®], gerando assim um novo limite de cava, o scrip encontra – se no anexo 1 .

A metodologia consiste basicamente na estimativa de diferenças de tempo entre a lavra de dois blocos. Como na operação de lavra a céu aberto a exploração prossegue em profundidade, o problema torna-se simples com a aplicação de uma taxa de desconto anual de acordo com o número de bancos de lavra estimados.

Estabeleceu-se uma taxa de desconto de 12% para o aprofundamento de 5 bancos por ano para as cavas do Sequeirinho e Pista e 3 bancos por ano para a cava do Sossego. No primeiro ano não foi aplicado o desconto.

3.8.6.1 Sulfetos medidos e indicados – Série Cava Descontada

Com a metodologia e parâmetros previamente definidos, uma série “descontada” de cavas foi gerada para uma faixa de preços de cobre entre 0.35 e 1,20 US\$.

A tabela 3.4 a seguir resume cada cava obtida, fornecendo detalhes de tonelagem total, tonelagem de minério, com teor de corte marginal, teores de cobre e ouro, metais recuperados (cobre, ouro e cobre equivalente), custos totais e incrementos de custos.

Pit	Preço US\$/lb	Total kt	REM	Minério Sulfetado			Metal Contido			Custo Total		Custo Incr US\$/lbEq	NPV KUS\$
				kt	%CuT	gpt Au	t Cu	Oz Au	t CuEq	KUS\$	US\$/lbEq		
1	0.35	30.46	- 0.07	32.86	3.160	1.205	946.22	951.61	1,101.61	857.35	0.35	0.35	1,570.89
2	0.36	70	- 0.07	75.10	3.137	1.113	2,146.88	2,008.42	2,474.84	1,947.79	0.36	0.36	3,506.26
3	0.37	385	0.04	368.67	2.455	1.005	8,219.01	8,902.52	9,672.73	7,896.93	0.37	0.37	13,390.26
4	0.38	695	0.05	661.99	2.505	0.889	15,066.09	14,152.36	17,377.08	14,398.73	0.38	0.38	23,791.52
5	0.39	1,280	0.06	1,208.01	2.344	0.777	25,517.72	22,563.51	29,202.19	24,826.55	0.39	0.40	39,193.30
6	0.40	2,127	0.13	1,888.94	2.174	0.724	36,845.31	32,873.32	42,213.31	36,687.37	0.39	0.41	55,577.30
7	0.41	2,828	0.16	2,440.46	2.123	0.694	46,536.25	40,700.54	53,182.38	46,685.35	0.40	0.41	69,271.52
8	0.42	4,355	0.24	3,516.11	2.028	0.641	63,362.24	54,147.03	72,204.09	64,791.55	0.41	0.43	91,915.24
9	0.43	5,711	0.26	4,544.19	1.907	0.604	77,119.00	65,936.69	87,886.03	80,317.80	0.41	0.45	109,607.43
40	0.74	341,290	2.00	113,599.51	1.071	1.302	1,079,843.44	823,929.75	1,214,385.77	1,575,904.76	0.59	0.69	747,964.72
41	0.75	371,027	2.07	120,910.69	1.059	0.298	1,137,535.29	866,107.06	1,278,964.90	1,677,434.41	0.59	0.71	763,076.68
42	0.76	394,412	2.13	126,053.94	1.054	0.296	1,179,816.22	896,930.75	1,326,279.13	1,752,451.66	0.60	0.72	774,153.11
43	0.77	409,561	2.16	129,467.07	1.050	0.295	1,207,383.44	917,396.97	1,357,188.35	1,801,663.35	0.60	0.72	780,838.85
44	0.78	443,159	2.22	137,579.32	1.039	0.291	1,269,714.74	962,825.45	1,426,937.83	1,914,415.37	0.61	0.73	794,444.16
45	0.79	510,494	2.37	151,580.25	1.024	0.286	1,380,100.03	1,042,249.08	1,550,292.47	2,115,766.50	0.62	0.74	816,044.34
46	0.80	518,703	2.38	153,612.64	1.021	0.285	1,394,581.57	1,052,759.96	1,566,490.37	2,142,732.75	0.62	0.76	818,618.11
47	0.81	554,419	2.44	161,048.03	1.015	0.283	1,453,118.83	1,096,800.53	1,632,219.17	2,251,200.61	0.63	0.75	828,661.99
48	0.82	563,342	2.45	163,509.45	1.011	0.282	1,469,408.62	1,108,170.31	1,650,365.57	2,282,487.88	0.63	0.78	830,766.26
49	0.83	582,428	2.47	167,786.02	1.005	0.280	1,500,002.72	1,130,507.70	1,684,607.22	2,340,773.15	0.63	0.77	835,324.46
50	0.84	599,385	2.50	171,276.55	1.002	0.279	1,526,695.19	1,149,554.03	1,714,409.83	2,391,299.10	0.63	0.77	839,325.02
51	0.85	626,051	2.54	177,065.63	0.996	0.278	1,568,975.75	1,181,484.90	1,761,904.49	2,473,260.17	0.64	0.78	844,890.22
52	0.86	652,669	2.58	182,545.03	0.991	0.275	1,608,808.89	1,208,590.38	1,806,163.78	2,550,710.71	0.64	0.79	849,590.22
53	0.87	692,129	2.66	189,237.66	0.983	0.274	1,654,709.85	1,248,164.71	1,858,526.97	2,646,388.50	0.65	0.83	854,029.95
54	0.88	712,633	2.68	193,791.56	0.977	0.272	1,684,746.89	1,268,268.85	1,891,846.88	2,706,757.07	0.65	0.82	856,710.40
55	0.89	779,665	2.77	206,816.72	0.968	0.270	1,781,932.90	1,341,571.68	2,001,002.76	2,900,662.47	0.66	0.81	865,807.27
56	0.90	809,926	2.81	212,761.13	0.963	0.269	1,823,533.21	1,373,811.43	2,047,867.61	2,985,658.98	0.66	0.82	869,081.61
57	0.91	811,008	2.81	212,967.25	0.963	0.269	1,825,002.76	1,375,101.95	2,049,547.90	2,988,704.39	0.66	0.82	869,212.41
58	0.92	859,511	2.88	221,264.97	0.959	0.267	1,888,920.01	1,421,687.65	2,121,072.29	3,118,321.18	0.67	0.82	874,250.52
59	0.93	869,449	2.89	223,308.36	0.957	0.267	1,901,632.84	1,431,933.48	2,135,458.19	3,145,579.27	0.67	0.86	874,936.99
60	0.94	876,688	2.91	224,281.12	0.957	0.267	1,910,095.00	1,437,885.99	2,144,892.36	3,162,865.85	0.67	0.83	875,512.48
61	0.95	891,959	2.93	227,036.12	0.954	0.266	1,928,637.10	1,451,491.50	2,165,656.15	3,202,486.09	0.67	0.87	876,548.78
62	0.96	920,355	2.96	232,233.01	0.951	0.265	1,965,253.63	1,477,149.34	2,206,462.44	3,279,754.82	0.67	0.86	878,650.00
63	0.97	1,018,814	3.12	247,229.70	0.947	0.263	2,084,177.94	1,564,033.15	2,339,574.30	3,528,408.94	0.68	0.85	884,995.23
64	0.98	1,025,582	3.13	248,617.27	0.946	0.263	2,093,326.69	1,570,102.43	2,349,714.13	3,547,826.07	0.68	0.87	885,307.70
65	0.99	1,036,744	3.14	250,503.25	0.944	0.262	2,104,907.48	1,579,127.64	2,362,768.88	3,574,124.48	0.69	0.91	885,502.93
66	1.00	1,894,474	3.17	293,196.20	0.943	0.262	2,125,446.38	1,594,632.22	2,385,839.35	3,618,120.64	0.68	0.87	886,248.85
67	1.01	1,055,558	3.17	253,418.19	0.943	0.262	2,126,909.05	1,596,823.81	2,387,496.62	3,621,523.35	0.69	0.93	886,259.33
68	1.02	1,067,363	3.17	255,680.61	0.940	0.261	2,140,286.03	1,603,842.84	2,402,183.66	3,651,841.56	0.69	0.94	886,392.07
69	1.03	1,116,630	3.23	263,988.38	0.933	0.259	2,192,791.93	1,642,461.21	2,460,995.08	3,771,929.24	0.70	0.93	887,645.39
70	1.04	1,140,638	3.25	268,677.62	0.928	0.258	2,221,041.81	1,663,159.41	2,492,624.84	3,836,976.24	0.70	0.93	888,197.80
71	1.05	1,152,523	3.26	270,587.74	0.927	0.257	2,232,494.08	1,671,093.14	2,505,372.64	3,864,194.25	0.70	0.97	888,293.79
72	1.06	1,166,656	3.28	272,562.39	0.926	0.257	2,246,928.76	1,682,709.03	2,521,704.12	3,897,220.62	0.70	0.92	888,661.47
73	1.07	1,175,322	3.29	273,740.82	0.925	0.257	2,254,814.22	1,688,892.20	2,530,599.25	3,915,934.66	0.70	0.95	888,754.66
74	1.08	1,196,796	3.32	277,315.19	0.922	0.256	2,277,212.20	1,705,922.68	2,555,778.19	3,968,773.33	0.70	0.95	889,061.76
75	1.09	1,199,738	3.32	277,813.35	0.922	0.256	2,279,765.39	1,707,526.70	2,558,593.31	3,975,376.97	0.70	1.06	889,017.45
76	1.10	1,213,518	3.33	280,444.49	0.918	0.254	2,293,608.27	1,714,998.81	2,573,656.34	4,009,393.94	0.71	1.02	888,893.00
77	1.11	1,220,981	3.34	281,651.43	0.918	0.254	2,301,596.51	1,720,480.70	2,582,536.47	4,028,206.34	0.71	0.96	888,986.10
78	1.12	1,236,176	3.35	284,504.38	0.916	0.254	2,319,611.24	1,733,569.04	2,602,691.71	4,071,736.10	0.71	0.98	889,065.16
79	1.13	1,241,690	3.35	285,209.78	0.915	0.253	2,323,442.49	1,738,022.73	2,606,923.63	4,081,141.67	0.71	1.01	889,045.51
80	1.14	1,249,548	3.36	286,423.53	0.914	0.253	2,331,187.01	1,741,166.41	2,615,508.08	4,099,853.35	0.71	0.99	889,053.74
81	1.15	1,259,488	3.37	288,158.38	0.912	0.252	2,340,309.89	1,748,478.19	2,625,824.92	4,123,569.95	0.71	1.04	888,961.75
82	1.16	1,273,614	3.40	289,529.37	0.912	0.253	2,351,364.91	1,758,305.85	2,638,484.73	4,150,892.27	0.71	0.98	889,011.16
83	1.17	1,275,763	3.40	289,878.20	0.912	0.253	2,353,473.47	1,759,843.81	2,640,844.43	4,156,095.76	0.71	1.00	889,011.56
84	1.18	1,283,935	3.41	291,257.38	0.911	0.252	2,361,647.32	1,765,520.79	2,649,945.30	4,176,508.65	0.71	1.02	888,971.20
85	1.19	1,294,077	3.42	292,681.17	0.909	0.252	2,370,076.01	1,772,299.68	2,659,480.93	4,199,024.04	0.72	1.07	888,806.91
86	1.20	1,309,944	3.44	294,831.30	0.908	0.252	2,384,070.62	1,783,070.35	2,675,234.32	4,234,948.50	0.72	1.03	888,672.87

Tabela 3.4 - Otimização dos resultados da Cava Descontada - Sulfetos medidos e indicados

A aplicação de um fator de diluição pode incorrer numa massa negativa de estéril de um bloco individual e, em regiões onde o pit é inteiramente mineralizável, relações estéril/minério negativas também podem ocorrer.

Verifica-se este fato na tabela 3.4 acima, onde até o pit 02 temos relações estéril/minério negativas.

Nota-se que a cava descontada para o preço de venda de 1,00 US\$/lb apresenta um custo de incremental de 0,87 US\$/lb. O pit 66 é a envoltória que corresponde a este valor.

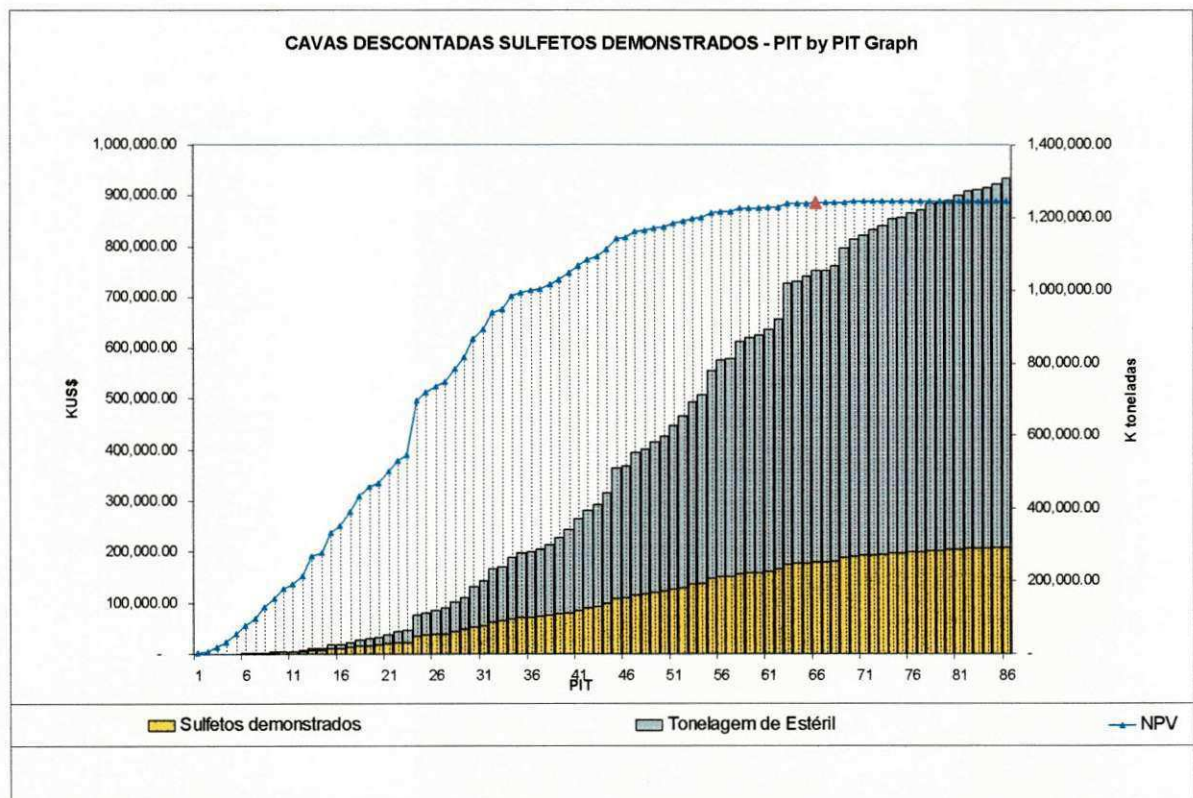


Gráfico 3.1 Cava Descontada - Sulfetos medidos e indicados

As reservas que constam nesta envoltória encontram-se no quadro abaixo:

Quadro de Reservas Lavráveis – Cava Descontada - Sulfetos medidos e indicados Cava Matemática

	Kt	%Cu	gpt Au
Reservas medidas e indicada			
Sequeirinho	224,673	0.94	0.26
Sossego	25,249	0.95	0.29
Misto Flotação	3,228	0.98	0.20
Total	253,150	0.94	0.26
REM	3.17		
Óxidos	18,318	0.61	0.00
Misto Lixiviação	3,449	0.51	0.04
Reservas Inferidas			
Sequeirinho	1,694	0.71	0.19
Sossego	3,202	0.58	0.15
Misto Flotação	504	0.85	0.14
Total	5,400	0.64	0.16
Óxidos	154	0.46	0.00
Misto Lixiviação	206	0.30	0.05
Esteril	773,798		
Material Total	1,054,474		

Considerando topografia final de 2004

O contorno vermelho nas figuras representa o pit 66 da presente análise. O contorno verde representa o cone matemático da otimização anterior e o contorno preto a cava operacionalizada anterior.

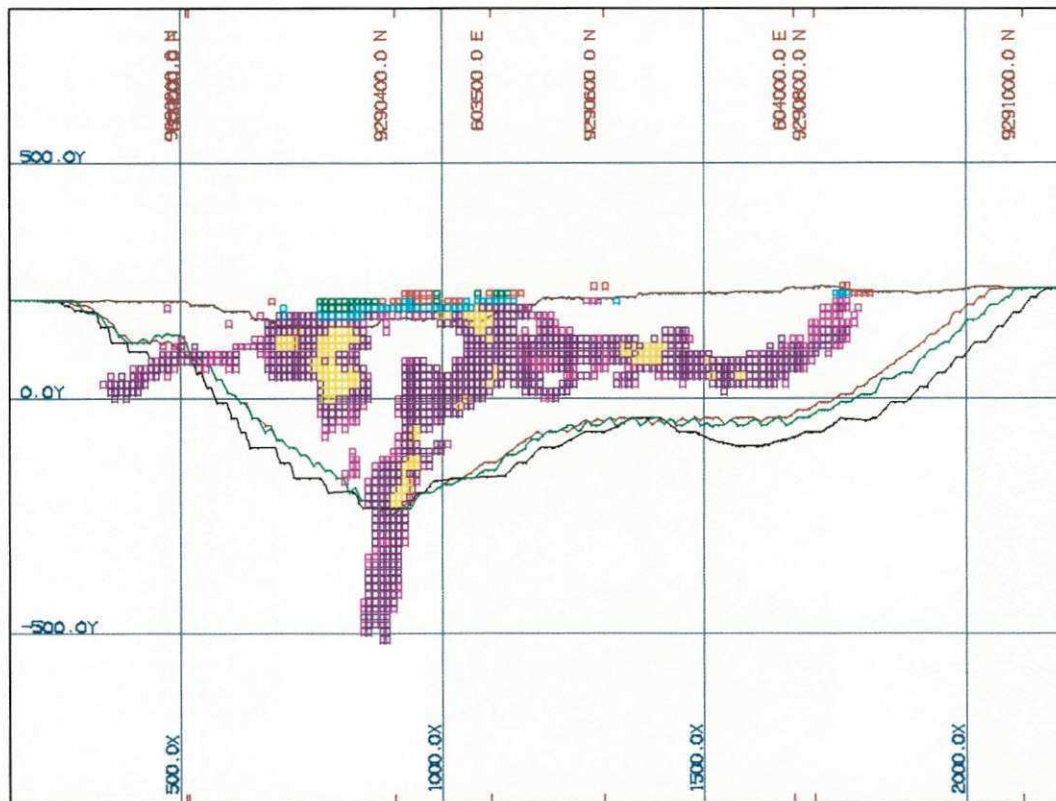


Figura 3.9 – Seção Vertical cava Sequeirinho

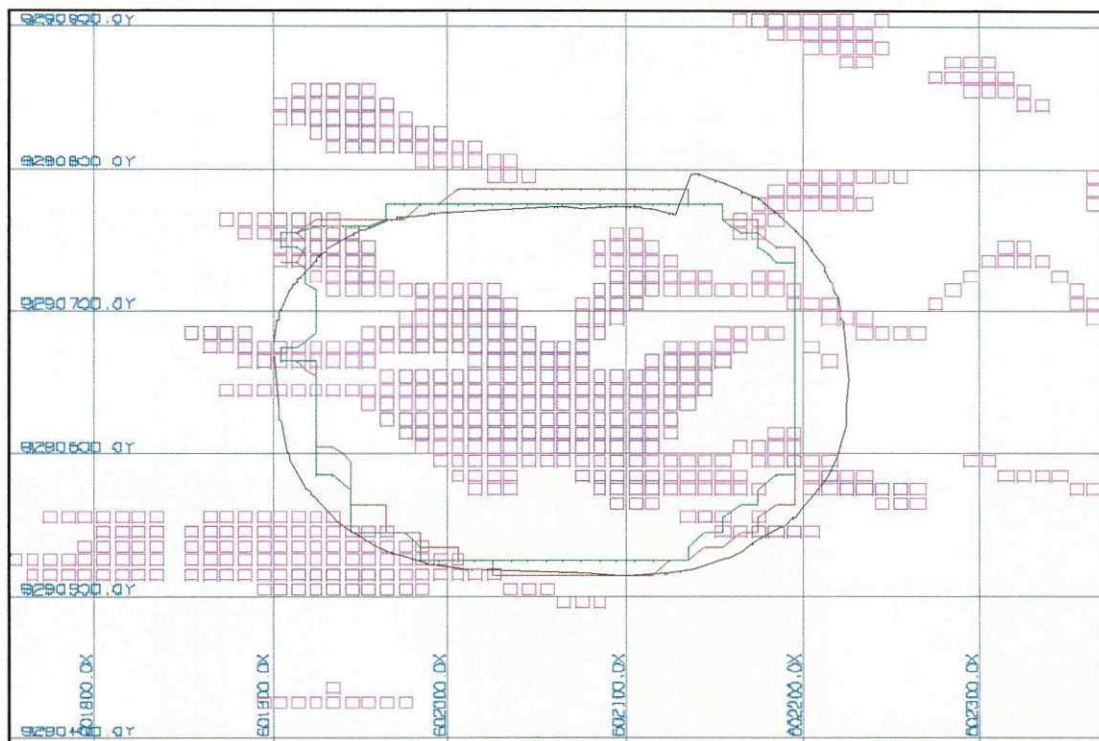


Figura 3.10 – Planta cava Pista – nível 136

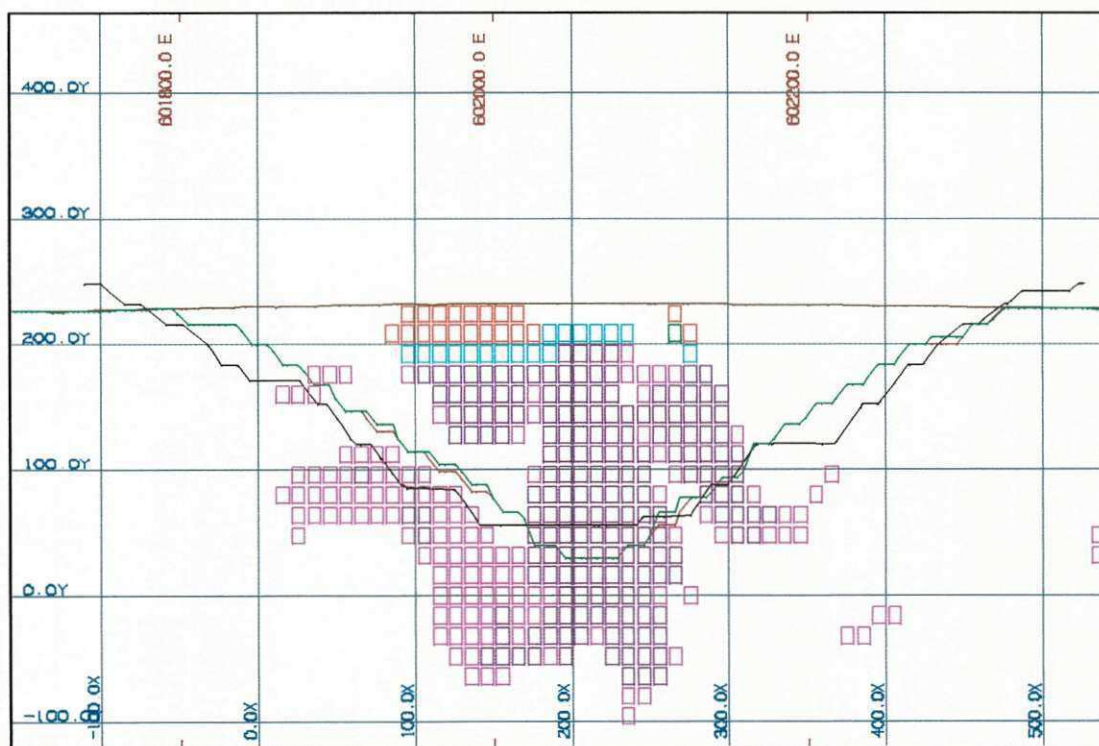


Figura 3.11 – Seção Vertical cava Pista

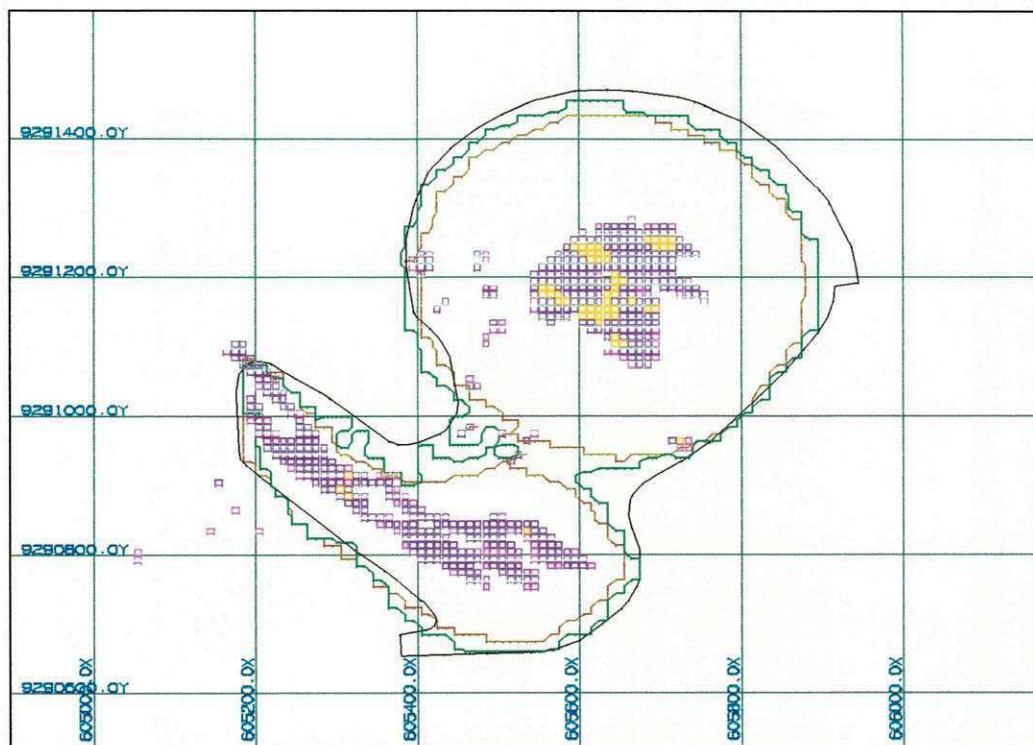


Figura 3.12 – Planta Cava do Sossego – nível 168

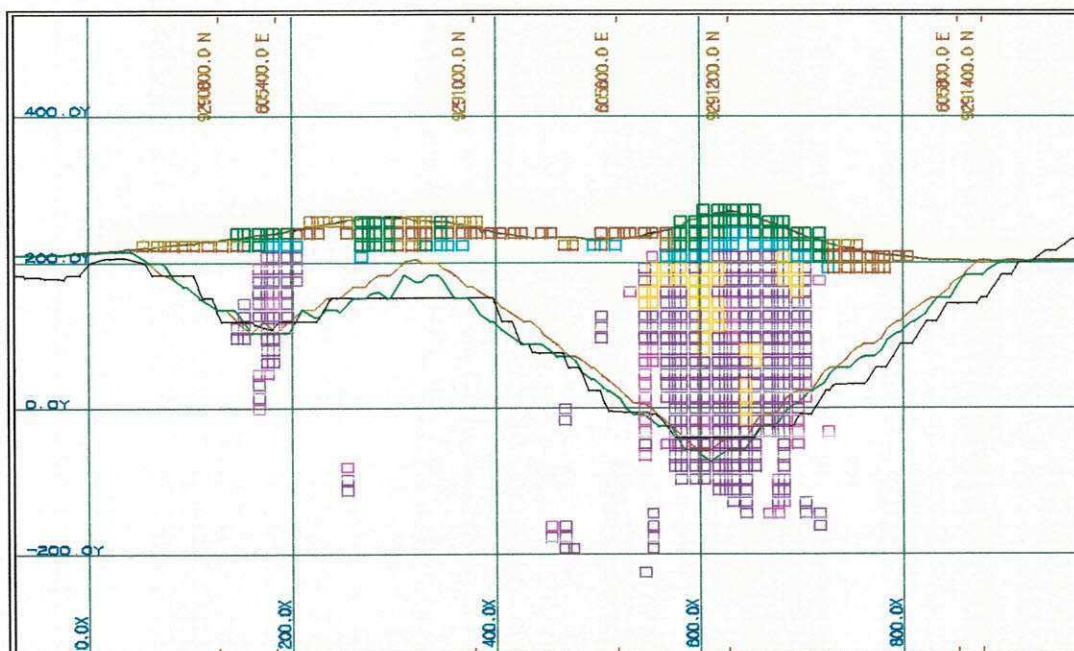


Figura 3.13 – Seção Vertical - Cava do Sossego

3.8.6.2 Sulfetos medidos e indicados – Série Clássica

Pit	Preço US\$/lb	Total kt	REM	Minério Sulfetado			Metal Contido			Custo Total		Custo Incr US\$/lbEq	NPV KUS\$
				kt	%CuT	gpt Au	t Cu	Oz Au	t CuEq	KUS\$	US\$/lbEq		
1	0.35	30.46	- 0.07	32.86	3.160	1.205	946.22	951.61	1,101.61	857.34	0.35	0.35	1,570.89
2	0.36	70	- 0.07	75.10	3.137	1.113	2,146.88	2,008.42	2,474.84	1,947.79	0.36	0.36	3,506.26
3	0.37	502	0.09	459.65	2.552	0.947	10,858.05	10,462.78	12,366.55	10,157.42	0.37	0.38	17,046.62
4	0.38	695	0.05	661.99	2.505	0.889	15,066.09	14,152.36	17,377.08	14,398.71	0.38	0.38	23,791.54
5	0.39	1,379	0.08	1,282.07	2.342	0.769	27,058.10	23,690.83	30,926.66	26,344.64	0.39	0.40	41,433.02
6	0.40	2,362	0.15	2,057.54	2.162	0.717	39,918.99	35,471.98	45,711.33	39,842.82	0.40	0.41	59,992.57
7	0.41	3,111	0.19	2,609.49	2.110	0.680	49,355.13	42,633.51	56,316.90	49,686.59	0.40	0.42	73,015.92
8	0.42	4,355	0.24	3,516.11	2.028	0.641	63,362.24	54,147.03	72,204.09	64,791.56	0.41	0.43	91,915.23
9	0.43	6,157	0.29	4,786.47	1.884	0.601	80,277.58	69,189.66	91,575.80	84,036.39	0.42	0.45	113,666.02
40	0.74	539,311	2.44	156,650.92	1.023	0.287	1,425,617.90	1,078,743.95	1,601,769.72	2,199,364.45	0.82	0.75	823,527.02
41	0.75	555,218	2.47	159,974.92	1.020	0.285	1,450,893.71	1,096,132.98	1,629,885.04	2,246,427.94	0.83	0.76	827,434.41
42	0.76	579,722	2.50	165,494.55	1.014	0.283	1,493,231.45	1,125,649.87	1,677,042.70	2,325,615.61	0.83	0.76	833,583.24
43	0.77	612,116	2.55	172,280.65	1.008	0.281	1,544,759.27	1,162,949.97	1,734,661.38	2,424,240.00	0.83	0.78	841,185.69
44	0.78	636,837	2.60	177,067.07	1.003	0.280	1,580,144.21	1,190,159.37	1,774,489.44	2,493,036.74	0.84	0.78	845,818.00
45	0.79	645,145	2.61	178,719.30	1.002	0.279	1,592,781.63	1,198,815.77	1,788,540.39	2,517,621.09	0.84	0.79	847,305.90
46	0.80	746,008	2.77	197,974.40	0.986	0.275	1,736,992.94	1,307,208.44	1,950,451.51	2,804,498.66	0.85	0.80	862,532.86
47	0.81	757,954	2.79	199,980.66	0.985	0.274	1,753,022.97	1,318,507.64	1,968,326.63	2,836,185.83	0.85	0.80	864,130.27
48	0.82	795,699	2.85	206,929.35	0.980	0.273	1,804,379.97	1,355,499.02	2,025,724.08	2,940,068.09	0.86	0.82	868,458.15
49	0.83	837,713	2.91	214,297.49	0.972	0.271	1,854,116.24	1,386,853.78	2,082,213.31	3,044,177.73	0.86	0.84	872,100.00
50	0.84	962,677	3.14	232,627.58	0.968	0.270	2,005,235.35	1,511,876.12	2,252,114.81	3,357,724.94	0.88	0.84	881,711.45
51	0.85	981,857	3.14	236,915.78	0.963	0.269	2,032,684.33	1,530,420.38	2,282,591.95	3,414,907.72	0.88	0.85	882,866.29
52	0.86	1,000,575	3.15	241,125.19	0.959	0.267	2,058,491.15	1,549,698.65	2,311,546.78	3,469,869.03	0.88	0.86	883,902.55
53	0.87	1,020,252	3.18	243,992.15	0.958	0.267	2,080,932.80	1,566,646.92	2,336,755.98	3,517,884.21	0.88	0.86	885,055.82
54	0.88	1,025,822	3.18	245,389.34	0.956	0.267	2,088,281.68	1,573,135.68	2,345,164.43	3,534,162.47	0.88	0.88	885,388.96
55	0.89	1,039,952	3.19	248,340.54	0.952	0.266	2,105,949.62	1,587,184.48	2,365,126.45	3,573,103.73	0.89	0.88	886,090.98
56	0.90	1,044,572	3.19	249,117.33	0.952	0.266	2,111,191.18	1,590,725.72	2,370,946.27	3,584,611.77	0.89	0.90	886,270.92
57	0.91	1,077,825	3.24	253,983.79	0.949	0.265	2,146,982.50	1,618,006.40	2,411,192.34	3,665,073.71	0.89	0.91	887,340.84
58	0.92	1,083,093	3.25	254,930.74	0.948	0.265	2,152,682.09	1,621,863.90	2,417,521.84	3,677,882.47	0.89	0.92	887,472.07
59	0.93	1,104,403	3.27	258,785.56	0.945	0.263	2,176,889.43	1,635,430.76	2,443,944.56	3,732,013.28	0.89	0.93	888,051.71
60	0.94	1,120,969	3.28	261,605.43	0.942	0.262	2,194,810.58	1,646,978.30	2,463,751.34	3,772,839.50	0.89	0.93	888,424.69
61	0.95	1,170,669	3.34	269,967.69	0.934	0.260	2,246,763.66	1,685,684.66	2,522,024.92	3,893,927.38	0.70	0.94	889,272.11
62	0.96	1,198,084	3.36	274,637.63	0.931	0.259	2,276,683.13	1,707,444.59	2,555,497.64	3,964,376.79	0.70	0.95	889,687.59
63	0.97	1,201,057	3.36	275,181.41	0.930	0.258	2,279,807.77	1,709,355.59	2,558,934.34	3,971,581.12	0.70	0.95	889,717.97
64	0.98	1,212,679	3.38	277,161.47	0.928	0.258	2,291,243.13	1,716,257.37	2,571,496.71	3,998,596.80	0.71	0.98	889,791.73
65	0.99	1,235,235	3.40	280,695.44	0.925	0.257	2,312,773.51	1,734,211.84	2,595,958.94	4,051,637.56	0.71	0.98	889,858.96
66	1.00	1,254,259	3.42	283,869.71	0.922	0.256	2,331,959.81	1,746,832.49	2,617,206.11	4,098,366.22	0.71	1.00	889,858.58
67	1.01	1,256,174	3.42	284,254.93	0.922	0.256	2,333,846.47	1,748,216.25	2,619,318.73	4,103,069.36	0.71	1.01	889,852.43
68	1.02	1,258,409	3.42	284,741.09	0.921	0.256	2,336,254.97	1,749,805.20	2,621,986.69	4,108,972.97	0.71	1.00	889,836.81
69	1.03	1,281,240	3.44	288,319.45	0.918	0.255	2,357,309.81	1,765,730.25	2,645,641.99	4,162,509.12	0.71	1.03	889,650.54
70	1.04	1,300,854	3.46	291,372.10	0.915	0.254	2,374,999.04	1,779,424.01	2,665,567.32	4,208,140.22	0.72	1.04	889,461.55
71	1.05	1,302,869	3.47	291,663.37	0.915	0.254	2,376,822.84	1,780,471.53	2,667,562.17	4,212,642.59	0.72	1.02	889,436.69
72	1.06	1,328,977	3.50	295,259.73	0.912	0.253	2,399,224.77	1,793,785.71	2,692,138.22	4,269,672.83	0.72	1.05	889,109.04
73	1.07	1,344,537	3.54	298,438.92	0.913	0.253	2,409,845.28	1,802,992.25	2,704,262.10	4,298,193.73	0.72	1.07	888,926.56
74	1.08	1,376,033	3.57	301,297.06	0.908	0.252	2,437,843.35	1,823,417.81	2,735,595.53	4,372,440.11	0.73	1.07	888,377.51
75	1.09	1,393,481	3.58	304,154.04	0.906	0.251	2,453,059.42	1,834,222.29	2,752,575.90	4,413,164.64	0.73	1.09	888,023.12
76	1.10	1,397,877	3.58	304,982.24	0.905	0.251	2,457,231.76	1,836,902.45	2,757,185.89	4,424,370.72	0.73	1.10	887,920.24
77	1.11	1,408,109	3.60	306,208.59	0.904	0.250	2,465,723.78	1,841,890.30	2,766,492.40	4,446,982.05	0.73	1.10	887,697.54
78	1.12	1,420,266	3.61	307,872.25	0.903	0.250	2,475,013.73	1,851,239.30	2,777,308.98	4,473,603.27	0.73	1.12	887,424.06
79	1.13	1,424,282	3.62	308,396.20	0.902	0.250	2,478,053.82	1,853,285.99	2,780,683.28	4,482,107.92	0.73	1.14	887,329.59
80	1.14	1,441,279	3.65	310,234.22	0.901	0.250	2,490,115.49	1,862,605.09	2,794,266.70	4,516,129.08	0.73	1.14	886,936.68
81	1.15	1,458,468	3.68	311,724.71	0.901	0.250	2,501,185.14	1,871,818.06	2,806,840.76	4,547,850.00	0.73	1.14	886,552.05
82	1.16	1,526,259	3.73	322,804.11	0.888	0.246	2,553,573.95	1,910,716.46	2,865,581.43	4,697,838.32	0.74	1.16	884,633.62
83	1.17	1,533,264	3.74	323,725.51	0.887	0.246	2,558,436.86	1,914,720.22	2,871,098.13	4,712,247.41	0.74	1.18	884,441.97
84	1.18	1,547,519	3.75	325,759.44	0.886	0.245	2,569,513.17	1,921,898.81	2,883,313.99	4,743,963.25	0.75	1.18	884,024.55
85	1.19	1,552,022	3.75	326,490.90	0.885	0.245	2,572,792.72	1,924,170.76	2,886,997.20	4,753,668.87	0.75	1.20	883,887.92
86	1.20	1,558,678	3.76	327,524.59	0.884	0.245	2,577,534.82	1,928,146.48	2,892,388.51	4,767,977.89	0.75	1.20	883,686.89

Tabela 3.5 - Otimização dos resultados - Sulfetos medidos e indicados

Verificando-se tabela 3.5 acima a cava que apresenta o custo incremental adotado de 0.87 US\$/lb é o pit 53.

Efetuada-se uma comparação entre a análise acima e análise das cavas descontadas notamos um decréscimo de 9,158 kt de minério, um aumento na relação estéril /minério de 3.17 para 3.18 e um NPV (Valor presente líquido) menor em 1,193 kUS\$.

Quadro de Reservas Lavráveis de Sulfetos - medidos e indicados
Cava Matemática

	Kt	%Cu	gpt Au
Reservas medidas e indicada			
Sequeirinho	217,270	0.96	0.26
Sossego	23,521	0.98	0.30
Misto Flotação	3,200	0.98	0.20
Total	243,992	0.96	0.27
REM	3.18		
Óxidos	17,136	0.63	0.00
Misto Lixiviação	3,381	0.51	0.04
Reservas Inferidas			
Sequeirinho	1,663	0.73	0.20
Sossego	2,749	0.56	0.15
Misto Flotação	349	0.83	0.15
Total	4,760	0.64	0.17
Óxidos	146	0.47	0.00
Misto Lixiviação	201	0.30	0.06
Esteril	750,636		
Material Total	1,020,252		

Considerando topografia final de 2004

3.8.6.3 Sulfetos e Óxidos medidos e indicados - Série Clássica

Pit	Preço US\$/lb	Total kt	REM	Minério Sulfetado			Metal Contido			Custo Total		Custo Incr US\$/lbEq	NPV KUS\$
				kt	%CuT	gpt Au	t Cu	Oz Au	t CuEq	KUS\$	US\$/lbEq		
1	0.35	4,415	83.35	52.34	2.438	0.828	1,060.39	1,041.57	1,230.47	4,471.80	1.65	1.65	1,758.40
2	0.36	4,597	43.13	104.16	2.872	0.925	2,624.84	2,316.79	3,003.16	5,983.00	0.90	0.39	637.26
3	0.37	5,331	10.07	481.54	2.489	0.912	10,780.53	10,557.57	12,504.51	14,139.76	0.51	0.39	13,378.95
4	0.38	5,795	7.42	888.29	2.453	0.862	15,211.71	14,263.83	17,540.90	18,630.55	0.48	0.40	19,936.21
5	0.39	6,807	4.18	1,313.61	2.317	0.755	27,252.90	23,825.61	31,143.47	30,891.67	0.45	0.41	37,394.29
6	0.40	8,110	2.73	2,171.50	2.165	0.707	41,375.73	36,890.91	47,399.77	45,912.08	0.44	0.42	57,632.21
7	0.41	9,296	2.32	2,792.38	2.120	0.665	52,141.63	44,625.86	59,428.74	57,337.51	0.44	0.43	72,141.03
8	0.42	10,691	1.92	3,657.20	2.016	0.641	64,985.31	56,341.29	74,185.47	71,560.71	0.44	0.44	89,481.75
9	0.43	13,175	1.56	5,140.81	1.864	0.595	84,435.99	73,516.96	96,440.83	94,091.48	0.44	0.46	114,006.96
40	0.74	546,437	2.47	157,621.73	1.021	0.286	1,431,897.85	1,082,988.71	1,608,742.81	2,213,787.24	0.62	0.75	819,234.46
41	0.75	561,744	2.49	160,826.13	1.018	0.285	1,456,147.48	1,099,652.93	1,635,713.60	2,259,134.52	0.63	0.76	822,859.71
42	0.76	586,854	2.52	166,487.32	1.012	0.282	1,499,337.30	1,129,987.72	1,683,856.89	2,340,020.07	0.63	0.76	829,194.35
43	0.77	619,885	2.57	173,549.90	1.005	0.280	1,552,199.23	1,168,387.13	1,742,989.19	2,441,359.73	0.64	0.78	836,743.13
44	0.78	643,515	2.61	178,103.78	1.001	0.279	1,586,062.76	1,194,666.59	1,781,143.99	2,507,175.94	0.64	0.78	841,077.41
45	0.79	662,958	2.65	181,404.61	0.999	0.278	1,612,221.51	1,213,722.86	1,810,414.50	2,558,296.34	0.64	0.79	844,235.19
46	0.80	758,698	2.80	199,654.33	0.985	0.274	1,749,746.56	1,315,864.77	1,964,618.65	2,831,682.64	0.65	0.80	858,889.67
47	0.81	764,414	2.81	200,794.55	0.984	0.274	1,758,398.80	1,321,920.72	1,974,259.79	2,848,901.39	0.65	0.81	859,704.04
48	0.82	834,235	2.91	213,431.47	0.972	0.271	1,847,118.59	1,392,293.54	2,074,471.00	3,031,430.43	0.66	0.83	866,652.01
49	0.83	841,858	2.92	214,809.62	0.971	0.271	1,857,173.36	1,399,299.26	2,085,669.76	3,051,986.82	0.66	0.83	867,406.21
50	0.84	965,384	3.15	232,841.52	0.968	0.270	2,006,608.43	1,512,775.29	2,253,532.72	3,361,681.06	0.68	0.84	876,873.36
51	0.85	984,235	3.15	237,081.93	0.963	0.269	2,033,590.81	1,531,059.42	2,283,602.78	3,418,097.06	0.68	0.85	877,993.96
52	0.86	1,007,492	3.17	241,680.79	0.959	0.268	2,063,474.10	1,553,791.18	2,317,198.02	3,481,821.22	0.68	0.86	879,274.76
53	0.87	1,025,540	3.19	244,654.67	0.957	0.267	2,084,910.89	1,570,524.52	2,341,367.25	3,527,955.56	0.68	0.87	880,344.83
54	0.88	1,028,896	3.19	245,721.36	0.955	0.267	2,090,099.87	1,574,337.49	2,347,178.87	3,539,353.11	0.68	0.89	880,555.93
55	0.89	1,043,047	3.19	248,662.64	0.952	0.266	2,107,767.22	1,588,238.56	2,367,116.17	3,576,206.13	0.69	0.88	881,246.99
56	0.90	1,047,060	3.20	249,278.57	0.951	0.266	2,112,174.78	1,591,296.05	2,372,023.00	3,588,013.07	0.69	0.91	881,394.30
57	0.91	1,082,051	3.25	254,417.28	0.949	0.265	2,149,865.28	1,619,151.30	2,414,262.08	3,672,476.31	0.69	0.91	882,500.84
58	0.92	1,091,470	3.27	255,783.88	0.948	0.265	2,158,830.53	1,626,869.66	2,424,487.69	3,693,193.84	0.69	0.92	882,739.61
59	0.93	1,114,715	3.28	260,413.84	0.943	0.262	2,186,609.71	1,640,742.05	2,454,532.14	3,754,725.34	0.69	0.93	883,370.06
60	0.94	1,124,202	3.29	262,040.49	0.941	0.262	2,197,189.67	1,647,946.66	2,466,288.56	3,778,941.69	0.70	0.93	883,581.94
61	0.95	1,172,117	3.34	270,005.36	0.934	0.260	2,246,998.54	1,685,803.14	2,522,279.15	3,895,427.65	0.70	0.94	884,388.24
62	0.96	1,200,055	3.37	274,809.60	0.931	0.259	2,277,571.15	1,707,854.84	2,556,452.65	3,967,277.72	0.70	0.95	884,829.22
63	0.97	1,211,219	3.38	276,582.32	0.929	0.258	2,288,338.34	1,714,095.33	2,568,238.88	3,992,491.89	0.71	0.97	884,921.49
64	0.98	1,214,148	3.38	277,213.80	0.928	0.258	2,291,546.16	1,716,497.93	2,571,839.02	4,000,197.34	0.71	0.97	884,941.34
65	0.99	1,240,823	3.41	281,571.45	0.924	0.257	2,317,413.87	1,736,433.88	2,600,962.14	4,063,442.61	0.71	0.99	885,028.38
66	1.00	1,255,835	3.42	283,993.38	0.922	0.256	2,332,531.20	1,747,201.01	2,617,837.68	4,100,467.05	0.71	1.00	885,035.82
67	1.01	1,258,925	3.42	284,673.57	0.921	0.256	2,335,715.58	1,749,286.21	2,621,362.56	4,108,371.79	0.71	1.02	885,022.82
68	1.02	1,268,575	3.44	285,818.65	0.920	0.256	2,343,209.16	1,755,844.77	2,629,927.11	4,127,686.68	0.71	1.02	884,973.41
69	1.03	1,283,945	3.45	288,549.82	0.918	0.255	2,358,692.02	1,766,829.73	2,647,203.74	4,166,911.62	0.71	1.03	884,839.87
70	1.04	1,301,943	3.47	291,446.04	0.915	0.254	2,375,271.04	1,779,558.18	2,665,861.23	4,209,440.52	0.72	1.03	884,689.24
71	1.05	1,311,522	3.47	293,132.10	0.913	0.253	2,384,321.75	1,783,246.50	2,675,514.22	4,231,748.90	0.72	1.05	884,547.63
72	1.06	1,330,031	3.50	295,288.32	0.912	0.253	2,399,382.49	1,793,858.79	2,692,307.88	4,270,972.99	0.72	1.06	884,330.19
73	1.07	1,346,995	3.54	296,682.12	0.912	0.253	2,411,123.57	1,803,858.63	2,705,681.86	4,302,195.70	0.72	1.06	884,131.56
74	1.08	1,377,202	3.57	301,339.81	0.908	0.252	2,438,093.41	1,823,511.78	2,735,860.94	4,373,740.32	0.73	1.08	883,608.51
75	1.09	1,394,786	3.58	304,215.48	0.906	0.251	2,453,401.31	1,834,384.85	2,752,944.34	4,414,765.01	0.73	1.09	883,250.45
76	1.10	1,399,351	3.59	305,062.33	0.905	0.251	2,457,677.45	1,837,135.58	2,757,669.65	4,426,171.25	0.73	1.09	883,143.70
77	1.11	1,410,733	3.60	306,434.85	0.904	0.250	2,466,937.42	1,843,082.05	2,767,900.64	4,451,184.75	0.73	1.11	882,898.18
78	1.12	1,422,981	3.62	308,101.76	0.902	0.250	2,476,271.82	1,852,235.48	2,778,729.74	4,477,805.54	0.73	1.12	882,622.55
79	1.13	1,426,431	3.62	308,595.42	0.902	0.250	2,479,032.10	1,853,883.58	2,781,759.14	4,485,409.28	0.73	1.14	882,536.57
80	1.14	1,444,677	3.65	310,593.30	0.901	0.250	2,491,991.50	1,863,510.40	2,796,290.54	4,521,931.14	0.73	1.14	882,107.14
81	1.15	1,459,523	3.68	311,762.79	0.901	0.250	2,501,370.90	1,871,910.07	2,807,041.55	4,549,050.21	0.74	1.14	881,782.28
82	1.16	1,527,270	3.73	322,842.14	0.888	0.246	2,563,727.54	1,910,790.15	2,865,747.05	4,698,938.49	0.74	1.16	879,862.19
83	1.17	1,534,258	3.74	323,754.04	0.887	0.246	2,568,567.75	1,914,775.94	2,871,238.11	4,713,247.54	0.74	1.18	879,671.94
84	1.18	1,548,509	3.75	325,787.97	0.886	0.245	2,569,644.06	1,921,754.53	2,883,453.98	4,744,963.38	0.75	1.18	879,255.05
85	1.19	1,552,956	3.76	326,514.80	0.885	0.245	2,572,892.33	1,924,204.84	2,887,102.37	4,754,568.94	0.75	1.19	879,119.41
86	1.20	1,560,023	3.76	327,572.56	0.884	0.245	2,577,821.70	1,928,312.99	2,892,702.58	4,769,478.27	0.75	1.21	879,908.44

Tabela 3.6 - Otimização dos resultados - Sulfetos & Óxidos medidos e indicados

Efetando-se novamente uma comparação entre a análise acima (tabela 3.6) e a análise das cavas descontadas notamos um decréscimo de 8,495 kt de minério, um aumento na relação estéril /minério de 3.17 para 3.19 e um NPV menor em 5,904 kUS\$.

Considerando, portanto, um custo incremental de 0,87 US\$/lb, verifica-se que o pit 66 da otimização de cavas descontadas representa a envoltória ótima para o desenho da cava do pit final.

Quadro de Reservas Lavráveis de Sulfetos & Óxidos - medidos e indicados
Cava Matemática

	Kt	%Cu	gpt Au
Reservas medidas e indicada			
Sequeirinho	217,280	0.96	0.26
Sossego	24,160	0.97	0.30
Misto Flotação	3,214	0.98	0.20
Total	244,655	0.96	0.27
REM	3.19		
Óxidos	18,709	0.62	0.00
Misto Lixiviação	3,417	0.51	0.04
Reservas Inferidas			
Sequeirinho	1,663	0.73	0.20
Sossego	2,867	0.56	0.15
Misto Flotação	414	0.87	0.15
Total	4,944	0.65	0.17
Óxidos	159	0.48	0.00
Misto Lixiviação	201	0.30	0.06
Esteril	753,455		
Material Total	1,025,540		

Considerando topografia final de 2004

3.8.6.4 Sulfetos e Óxidos medidos e indicados e Sulfetos Inferidos

Pit	Preço US\$/lb	Total kt	REM	Minério Sulfetado			Metal Contido			Custo Total		Custo Incr US\$/lbEq	NPV KUS\$
				kt	%CuT	gpt Au	t Cu	Oz Au	t CuEq	KUS\$	US\$/lbEq		
1	0.35	4,414.52	83.35	52	2.438	0.828	1,060	1,042	1,230	4,472	1.65	1.65	1,758
2	0.36	4,597	43.13	104	2.872	0.925	2,625	2,317	3,003	5,983	0.90	0.39	637
3	0.37	5,331	10.07	482	2.489	0.912	10,781	10,558	12,505	14,140	0.51	0.39	13,379
4	0.38	5,795	7.42	688	2.453	0.862	15,212	14,284	17,541	18,631	0.48	0.40	19,936
5	0.39	6,807	4.18	1,314	2.317	0.755	27,253	23,826	31,143	30,892	0.45	0.41	37,394
6	0.40	8,110	2.73	2,172	2.165	0.707	41,376	36,891	47,400	45,912	0.44	0.42	57,632
7	0.41	9,266	2.32	2,792	2.120	0.665	52,142	44,626	59,429	57,338	0.44	0.43	72,141
8	0.42	10,691	1.92	3,657	2.016	0.641	64,985	56,341	74,185	71,561	0.44	0.44	89,482
9	0.43	13,175	1.56	5,141	1.864	0.595	84,436	73,517	96,441	94,091	0.44	0.46	114,007
40	0.74	554,276	2.42	162,211	1.012	0.283	1,440,197	1,102,555	1,620,237	2,259,304	0.63	0.76	829,358
41	0.75	570,749	2.44	165,934	1.008	0.281	1,466,015	1,121,584	1,649,163	2,309,649	0.64	0.79	833,279
42	0.76	603,021	2.48	173,051	1.001	0.279	1,517,874	1,159,901	1,707,279	2,411,244	0.64	0.79	841,485
43	0.77	648,351	2.56	182,142	0.994	0.277	1,584,758	1,211,312	1,782,557	2,544,677	0.65	0.80	851,026
44	0.78	665,065	2.58	185,765	0.991	0.275	1,609,477	1,229,607	1,810,264	2,594,870	0.65	0.82	854,226
45	0.79	693,535	2.62	191,507	0.986	0.274	1,649,965	1,260,339	1,855,770	2,677,684	0.65	0.83	859,488
46	0.80	767,584	2.72	206,326	0.975	0.271	1,758,433	1,343,149	1,977,761	2,895,967	0.66	0.81	870,763
47	0.81	790,002	2.74	210,973	0.971	0.270	1,790,575	1,366,886	2,013,778	2,962,375	0.67	0.84	873,562
48	0.82	849,065	2.83	221,631	0.962	0.268	1,861,606	1,426,832	2,094,598	3,114,965	0.67	0.86	879,112
49	0.83	965,552	3.06	237,738	0.962	0.268	1,996,564	1,533,019	2,246,896	3,401,213	0.69	0.85	888,645
50	0.84	997,352	3.09	243,949	0.957	0.267	2,037,783	1,564,072	2,293,186	3,490,523	0.69	0.88	890,833
51	0.85	1,017,798	3.09	248,683	0.953	0.265	2,065,697	1,585,396	2,324,582	3,552,159	0.69	0.89	892,189
52	0.86	1,040,524	3.11	253,110	0.949	0.264	2,093,503	1,608,385	2,356,141	3,614,457	0.70	0.90	893,750
53	0.87	1,050,636	3.12	255,145	0.947	0.264	2,104,804	1,618,295	2,369,061	3,642,241	0.70	0.98	894,359
54	0.88	1,056,907	3.12	256,620	0.945	0.263	2,112,602	1,624,424	2,377,860	3,660,159	0.70	0.92	894,688
55	0.89	1,081,004	3.15	260,782	0.942	0.263	2,139,124	1,646,791	2,408,034	3,721,531	0.70	0.92	895,736
56	0.90	1,091,192	3.15	262,806	0.940	0.262	2,150,931	1,656,407	2,421,411	3,749,550	0.70	0.95	896,129
57	0.91	1,103,817	3.17	265,011	0.939	0.262	2,165,585	1,666,611	2,437,732	3,782,981	0.70	0.93	896,601
58	0.92	1,169,980	3.23	276,776	0.929	0.258	2,236,472	1,716,566	2,516,776	3,950,100	0.71	0.96	898,488
59	0.93	1,183,798	3.25	278,588	0.928	0.258	2,248,969	1,727,576	2,531,071	3,981,848	0.71	1.01	898,773
60	0.94	1,203,996	3.27	281,652	0.927	0.258	2,268,405	1,744,187	2,553,219	4,030,502	0.72	1.00	899,200
61	0.95	1,223,303	3.29	285,343	0.923	0.257	2,289,446	1,760,471	2,576,919	4,082,340	0.72	0.99	899,519
62	0.96	1,233,570	3.29	287,215	0.922	0.256	2,300,502	1,768,467	2,589,281	4,109,057	0.72	0.98	899,661
63	0.97	1,243,273	3.30	289,096	0.920	0.255	2,310,662	1,774,100	2,600,361	4,133,105	0.72	0.98	899,739
64	0.98	1,253,921	3.31	291,258	0.917	0.255	2,321,343	1,782,989	2,612,493	4,160,045	0.72	1.01	899,796
65	0.99	1,285,410	3.35	295,604	0.915	0.254	2,346,235	1,805,989	2,641,141	4,230,706	0.73	1.12	899,876
66	1.00	1,300,214	3.36	298,008	0.913	0.254	2,360,168	1,817,166	2,656,899	4,266,892	0.73	1.04	899,874
67	1.01	1,309,425	3.37	299,377	0.912	0.253	2,367,206	1,823,318	2,664,942	4,286,801	0.73	1.12	899,847
68	1.02	1,331,997	3.40	303,005	0.909	0.253	2,385,867	1,840,593	2,686,423	4,342,961	0.73	1.19	899,729
69	1.03	1,348,092	3.41	305,848	0.906	0.252	2,401,622	1,852,167	2,704,068	4,383,399	0.74	1.04	899,598
70	1.04	1,368,661	3.44	308,153	0.906	0.252	2,415,298	1,865,986	2,720,002	4,425,934	0.74	1.21	899,410
71	1.05	1,386,958	3.46	311,042	0.903	0.251	2,432,103	1,874,880	2,738,258	4,468,942	0.74	1.07	899,192
72	1.06	1,404,868	3.48	313,547	0.902	0.250	2,445,161	1,886,914	2,753,282	4,508,513	0.74	1.19	898,973
73	1.07	1,406,269	3.48	313,925	0.901	0.250	2,446,496	1,887,845	2,754,769	4,512,275	0.74	1.15	898,948
74	1.08	1,431,510	3.50	318,010	0.898	0.249	2,468,595	1,904,879	2,779,650	4,572,673	0.75	1.10	898,529
75	1.09	1,444,479	3.51	320,013	0.896	0.249	2,479,427	1,912,133	2,791,666	4,602,338	0.75	1.12	898,299
76	1.10	1,453,433	3.52	321,617	0.894	0.248	2,486,281	1,917,934	2,799,467	4,623,189	0.75	1.21	898,123
77	1.11	1,499,291	3.59	326,861	0.891	0.248	2,517,072	1,946,994	2,835,004	4,718,813	0.75	1.22	897,286
78	1.12	1,532,781	3.58	334,362	0.882	0.245	2,544,436	1,972,665	2,866,559	4,803,292	0.76	1.21	896,460
79	1.13	1,539,416	3.59	335,611	0.880	0.245	2,549,850	1,976,444	2,872,591	4,819,062	0.76	1.19	896,297
80	1.14	1,565,220	3.63	338,349	0.879	0.245	2,565,886	1,990,090	2,890,855	4,871,709	0.76	1.31	895,751
81	1.15	1,591,231	3.65	342,284	0.876	0.244	2,585,332	2,003,936	2,912,562	4,930,269	0.77	1.22	895,102
82	1.16	1,637,464	3.70	348,090	0.872	0.243	2,614,944	2,029,859	2,946,406	5,026,833	0.77	1.29	894,014
83	1.17	1,644,944	3.71	349,331	0.871	0.242	2,619,276	2,034,283	2,951,461	5,042,836	0.78	1.44	893,814
84	1.18	1,672,362	3.74	353,077	0.868	0.241	2,637,162	2,049,381	2,971,812	5,102,897	0.78	1.34	893,080
85	1.19	1,684,524	3.75	354,352	0.868	0.241	2,643,954	2,055,495	2,979,603	5,127,585	0.78	1.44	892,769
86	1.20	1,712,105	3.79	357,438	0.866	0.241	2,661,787	2,068,319	2,999,530	5,183,391	0.78	1.27	892,058

Tabela 3.7 - Sulfetos & Óxidos - medidos, indicados e Sulfetos inferidos

Considerou-se como limite de condenação a envoltória 80 da otimização de sulfetos e óxidos medidos e indicados e sulfetos inferidos a um custo incremental de 1,31 US\$/lb.

4. ESTUDO DE CUT-OFF

4.1 Histórico

No Estudo de Viabilidade de maio de 2001, vários ensaios foram realizados a fim de analisar a sensibilidade do teor de corte para diferentes cenários. Para essas simulações foi utilizado o software “Opti Cut”. O perfil de teor corte variável final (tabela 4.1) foi obtido suavizando-se os resultados do “Opti Cut”, sendo muito altos no início, caindo muito rapidamente para o minério marginal. De acordo com os resultados, o minério de baixo teor seria estocado e os teores altos seriam enviados à planta. Após o ano 7 aumenta a relação estéril/minério e as pilhas seriam retomadas.

Ano (Período)	Teor de corte (% CuEq)
PP	0.70
1	0.70
2	0.55
3	0.55
4	0.50
5	0.45
6	0.45
7 até o final da mina	0.33

Tabela 4.1 – Perfil Variável Final para o Programa de Lavra - Viabilidade

Em 2002, foi feita uma análise de teor de corte, para os primeiros cinco anos de operação em virtude do novo cenário econômico global e a baixa na projeção do preço do cobre para os anos seguintes. Foram feitos vários cenários, dentre estes o melhor perfil seria o de teor constante igual a 0.5 % CuEq, nesta opção o perfil de teor médio de alimentação da usina e a produção de cobre manteve-se estável. A tabela 4.2 mostra o perfil de teor de corte.

Ano (Período)	Teor de corte (% CuEq)
PP	0.50
1	0.50
2	0.50
3	0.50
4	0.50
5	0.50

Tabela 4.2 – Perfil Variável Final para o Programa de Lavra –Análise dos primeiros cinco anos

Na prática o teor de corte aplicado no Complexo Sossego é 0.5% (CuEq).

4.2 Estratégia de Teor de Corte (Cut-Off)

O objetivo desta análise é aplicar o perfil de teor de corte, quantificando o impacto no ritmo anual de movimentação total de materiais e os efeitos dos fluxos anuais. Para este propósito foi utilizado o software baseado na teoria do “Lane”.

O software “Lane” utiliza o conceito de oportunidade de custo, baseado no algoritmo de K. Lane. Em termos gerais este algoritmo sugere que para melhorar o VPL (Valor líquido presente) de toda exploração, para uma dada seqüência de lavra, o “melhor” minério deve ser enviado à planta de beneficiamento hoje, deixando o tratamento do minério marginal para o futuro. Como resultado final, o sistema “Lane” fornece um perfil de teor de corte variável, que deve ser guia para o sequenciamento de lavra. O software “Lane” permite simular o sequenciamento de lavra.

Vários ensaios foram realizados a fim de analisar a sensibilidade do teor de corte para diferentes cenários.

Para estas análises foi necessário estruturar alguns pontos:

- a) Modelo de teor equivalente;

- b) Perfil de teor de corte variável;
- c) Sequenciamento de lavra;
- d) Análise dos resultados.

Toda a manipulação dos dados foi feita utilizando os programas “Gemcom[®]”, “Lane” e PlanInt, esses dois últimos criados pela NCL (empresa chilena de consultoria em mineração).

a) Modelo de teor equivalente

Como no Complexo Sossego o cobre e o ouro contido são recuperáveis na planta de beneficiamento, foi utilizado o modelo de teor equivalente (CuEq) a fim de se ter uma única variável para fins do sequenciamento proposto. Para o cálculo deste modelo de teor equivalente, parâmetros econômicos e de recuperação da planta devem ser levados em consideração de acordo com os dados detalhados no **capítulo 3**. A expressão geral para este cálculo é apresentada abaixo. O “scrip” para cálculo do modelo no Gemcom[®] esta no anexo 2.

$$\text{CuEq(\%)} = \text{Cu(\%)} + \text{Au(gpt)} \times \text{Constata/Recuperação Cu(\%)}$$

Onde:

$$\text{Constata} = (\text{Rec. Au} \times \text{Rec. Smelter Au} \times (\text{Preço Au} - \text{Preço venda Au}) / 31.103 / 22.0462 / (\text{Preço Cu} - \text{Preço venda Cu}) / \text{Rec. Smelter Cu}.$$

Rec. – Recuperação;

31.103 e 22.0462 – Constante de conversão lb x t.

b) Perfil de teor de corte variável

Depois das rodadas de otimização e a escolha das cavas finais (capítulo 3), de posse das fases operacionais e com a topografia prevista para o final de 2005 (figuras 4.1 e 4.2), gerou-se uma cubagem no Gemcom[®] que foi exportado para um arquivo “Lane”. O detalhe do funcionamento do software “Lane” está descrito no anexo 3.

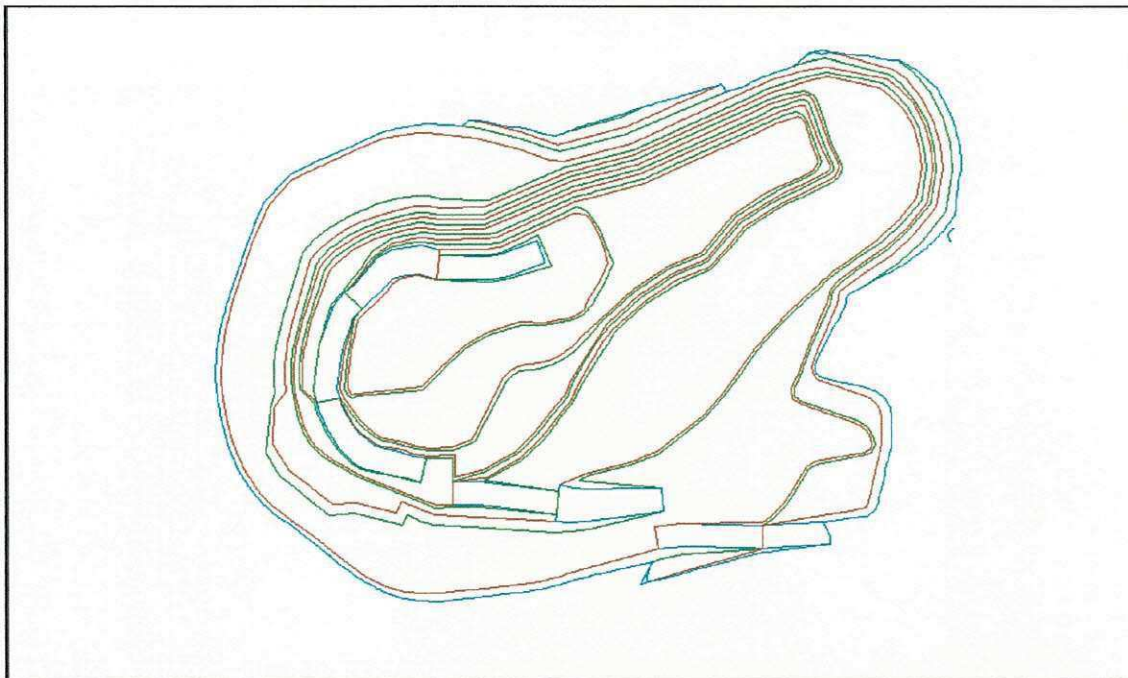


Figura 4.1 - Situação prevista para o final de 2005 – cava do Sequeirinho

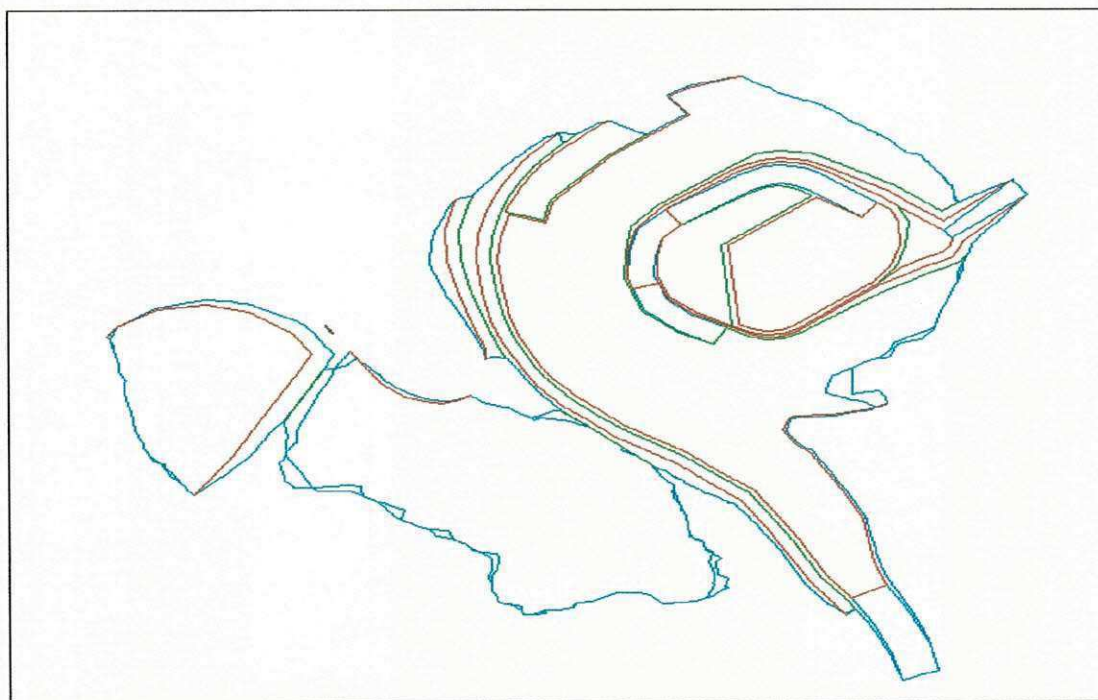


Figura 4.2 Situação prevista para o final de 2005 – cava do Sossego

Com a atualização do modelo econômico foram definidos vários cenários para estudos:

- 1) Teor de corte marginal;
- 2) Teor de corte definido no estudo de viabilidade;
- 3) Teor de corte 0.5% até 2009 que esta sendo praticado hoje;
- 4) Otimização do teor de corte pelo sistema;
- 5) Teor de corte variável.

Todos estes estudos foram feitos no software “Lane”. Os parâmetros econômicos usados foram os mesmos para todas rodadas de simulação, alterando apenas o campo do teor de corte.

Os parâmetros usados foram:

Custo mina para estéril 0.7750 US\$/t;

Custo mina para minério 0.8410 US\$/t;

Custo Planta 3,400 US\$/t;

Custo de fundição 85,00 US\$/t;

Preço de venda 0.332 US\$/lb;

Preço do cobre 1.000 US\$/lb;

Recuperação 92%.

c) Sequenciamento de lavra

Nas tabelas seguintes apresentam os planos de produção gerados pela simulação da variação do teor de corte. Esses planos serão operacionalizados posteriormente.

Deve-se mencionar que os valores calculados como NPV são valores com aplicação de um fator de correção. Logo, os valores de NPV, não refletem valores reais.

Sequeirinho						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.31	11902	1.400	48711	153	131
2007	0.31	12750	1.075	49576	126	82
2008	0.31	12750	1.148	52476	135	81
2009	0.31	12750	1.256	56572	147	82
2010	0.31	12750	1.231	60881	144	69

Sossego						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.31	2100	1.420	9580	27	23
2007	0.31	2250	1.397	4437	29	25
2008	0.31	2250	1.355	8550	28	19
2009	0.31	2250	1.306	8550	27	16
2010	0.31	2250	0.946	12668	20	6

Tabela 4.3 – Plano de Produção - teor de corte marginal

Sequeirinho						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.60	11902	1.587	63494	174	146
2007	0.50	12750	1.334	65403	156	107
2008	0.45	12750	1.370	63484	161	101
2009	0.45	12750	1.428	66009	168	95
2010	0.31	12750	0.782	67665	92	21

Sossego						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.60	2100	1.572	10305	30	26
2007	0.50	2250	1.454	7159	30	24
2008	0.45	2250	1.429	7159	30	21
2009	0.45	2250	1.233	9919	26	14
2010	0.31	2250	0.921	12228	19	6

Tabela 4.4 Plano de produção - teor de corte definido no estudo de viabilidade

Sequeirinho						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.50	11902	1.516	60818	166	138
2007	0.50	12750	1.313	62633	154	106
2008	0.50	12750	1.410	64897	165	105
2009	0.50	12750	1.479	67510	174	100
2010	0.31	12750	0.781	69041	92	21

Sossego						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.50	2100	1.535	10113	30	25
2007	0.50	2250	1.458	7239	30	24
2008	0.50	2250	1.437	7239	30	21
2009	0.50	2250	1.262	10013	26	14
2010	0.31	2250	0.92	12220	19	6

Tabela 4.5 Plano de produção - análise dos primeiros cinco anos

Sequeirinho						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.70	11902	1.665	69641	182	153
2007	0.60	12750	1.471	71751	173	122
2008	0.50	12750	1.450	71771	170	106
2009	0.50	12750	1.327	75853	156	79
2010	0.50	7290	1.184	80500	79	16

Sossego						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.70	2100	1.681	10948	32	28
2007	0.70	2250	1.545	8060	32	26
2008	0.60	2250	1.529	9390	32	22
2009	0.60	2250	1.150	13009	24	11
2010	0.60	1746	1.076	17000	17	3

Tabela 4.6 Plano de produção - teor de corte da otimização do sistema

Sequeirinho						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.70	12900	1.642	71316	195	166
2007	0.60	12750	1.493	73453	175	124
2008	0.50	12750	1.458	77759	171	104
2009	0.50	12537	1.287	80500	148	71
2010	0.50	8252	1.239	80500	94	27

Sossego						
Ano	Cutoff %	Mineral kt	Cueq	Total kt	Produto kt	NPV MSUS
2006	0.70	2100	1.681	10948	32	28
2007	0.70	2250	1.545	8060	32	26
2008	0.60	2250	1.529	9390	32	22
2009	0.60	2250	1.150	13009	24	11
2010	0.60	1746	1.076	17000	17	3

Tabela 4.7 Plano de produção - teor de corte variável

Para a situação da tabela 4.7 foram feitas várias simulações onde analisou – se a alimentação da usina, movimentação total e NPV.

d) Análise dos resultados

A análise dos resultados compreende o período de 2006 a 2010 dentro dos cenários estudados. Para a comparação dos resultados foram analisadas as seguintes variáveis:

- NPV;
- Movimentação total de materiais;
- Alimentação da usina;
- Teor de CuEq.

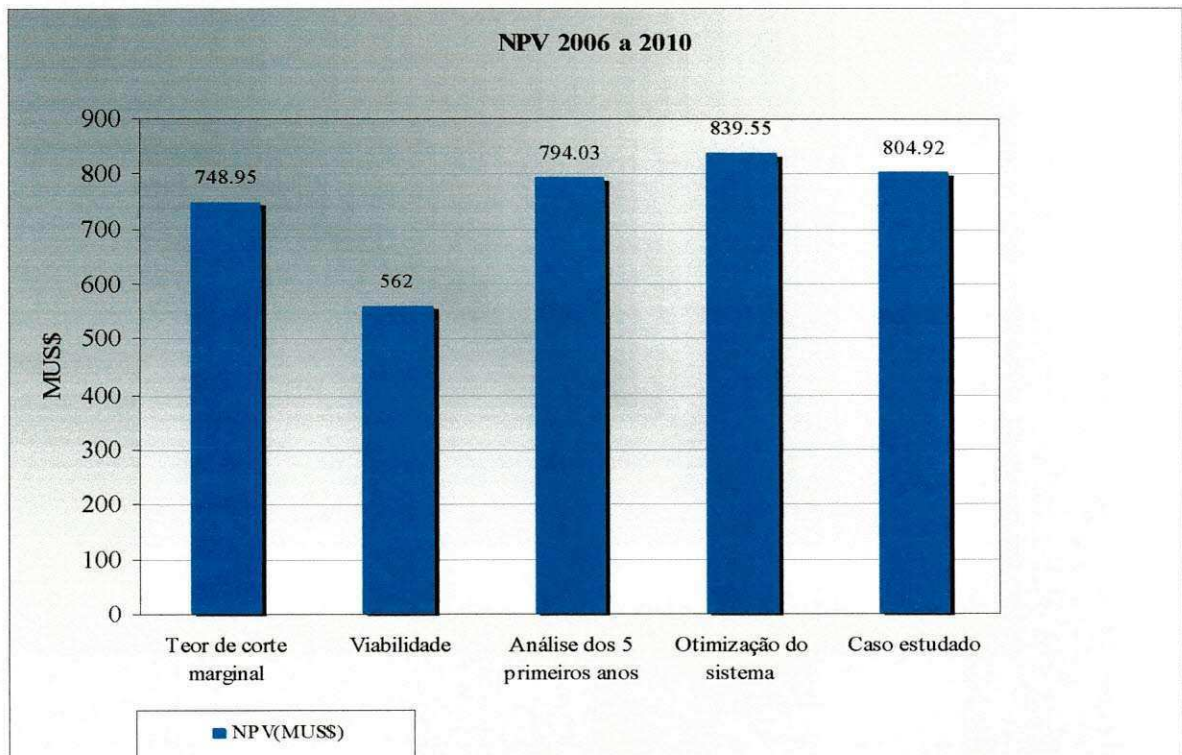


Figura 4.3 - NPV acumulado

Na figura 4.3 verifica-se um maior VPL na otimização do sistema seguida do caso estudado.

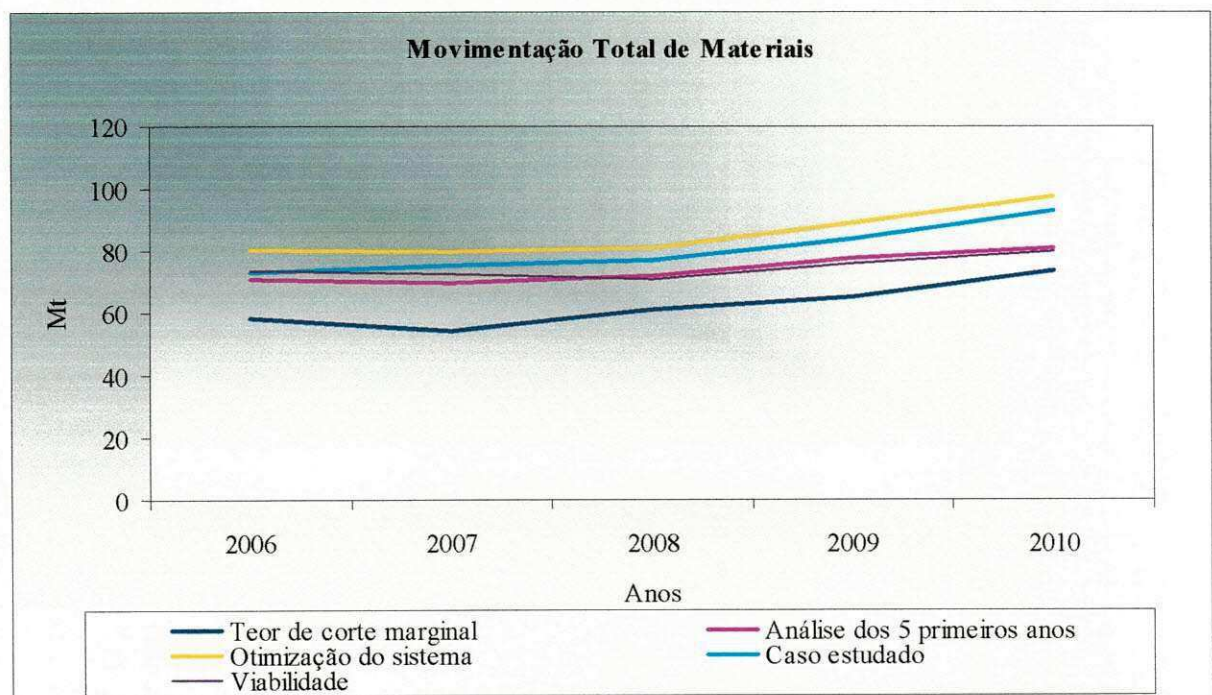


Gráfico 4.1 - Movimentação total

No gráfico 4.1 observa-se que a movimentação total no viabilidade é menor, enquanto o da otimização do sistema e o caso estudado é constante até 2008, nos anos seguintes cresce.

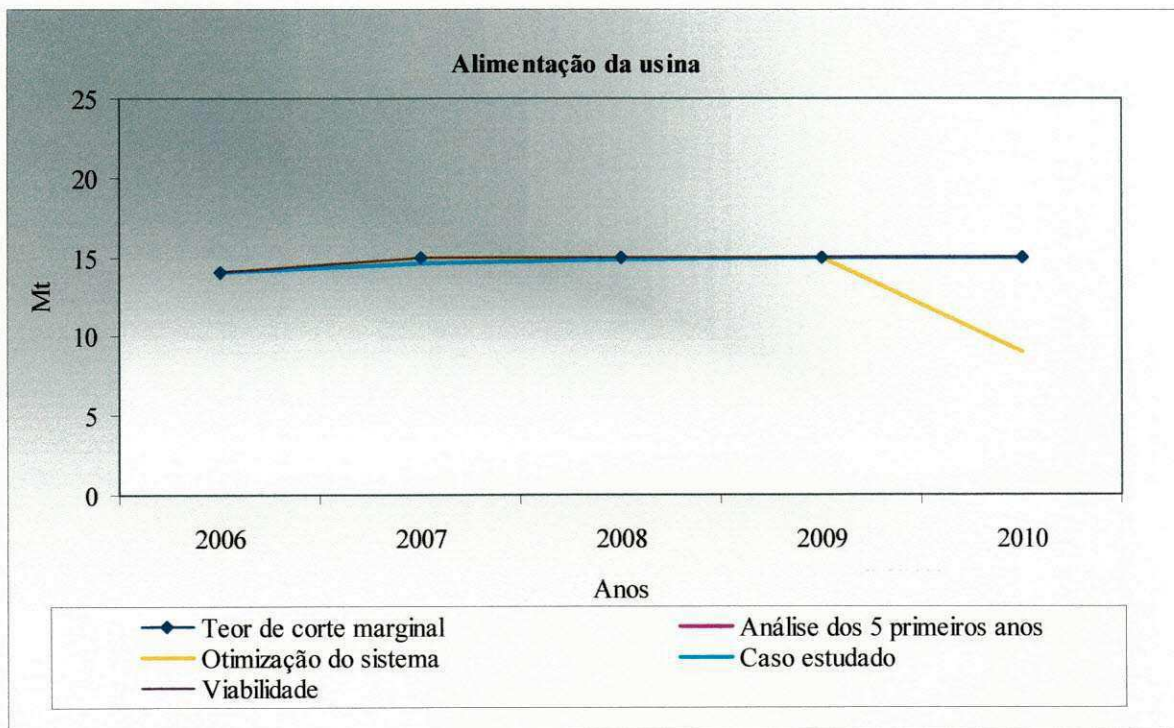


Gráfico 4.2 – Alimentação da Usina

No gráfico 4.2 observa-se que em todos os casos é garantido a alimentação da usina exceto no da otimização do sistema que no ano de 2007 falta minério para usina.

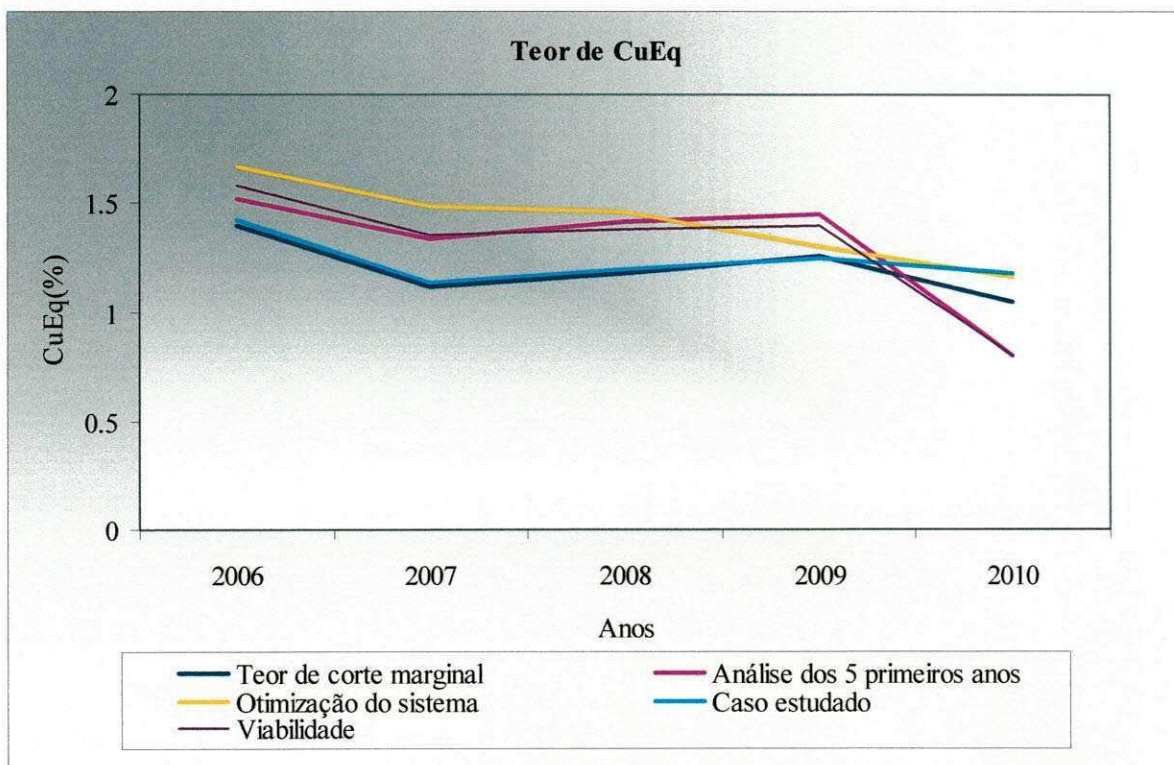


Gráfico 4.3 – Teor de CuEq

No gráfico 4.3 verifica-se que os teores a partir de 2008 decresce em virtude da diminuição do teor de corte.

5. CONCLUSÃO

Com o novo modelo de recursos minerais e os parâmetros de otimização de 2004, teve-se um ganho de reservas de minério de 3,7% em massa e 1% em teor, isto se deve a atualização da geometria do corpo devido as novas informações de sondagem e mapeamento de mina.

Com os parâmetros de otimização atualizados e o novo modelo de recursos, obteve-se uma perda de reserva, isto é justificável pelas constantes mudanças econômicas. Os valores trabalhados nesta nova otimização foram atualizados com a realidade do projeto e do mercado.

A cava final escolhida foi pelo método da cava descontada para sulfetos medidos e indicados, isto porque a análise feita com os métodos clássicos, não favorece em reserva, relação estéril/minério e em VPL. Utilizou-se o método clássico para sulfetos e óxidos medido e indicado e sulfetos inferidos para definir o limite de condenação. Este limite servirá como base para continuidade das pesquisas geológicas.

Para o estudo do teor de corte fez-se necessário avaliar o que foi planejado anteriormente no estudo de viabilidade, análises posteriores ao viabilidade e buscou-se uma alternativa com teores de corte variável. Comparando os valores de VPL, para os próximos cinco anos o melhor resultado é o da otimização do teor de corte do sistema "Lane", por outro lado faltará minério para alimentação da planta em 2010. Em termo de movimentação total permite manter uma frota de equipamentos constante até 2008.

Em relação ao perfil de teores de corte, a melhor opção é o caso estudado, pois permite manter estável o teor de CuEq e a produção de cobre fino.

Em termos gerais a opção do caso estudado é a melhor, já que a otimização do teor de corte do sistema não permite alimentar a usina no ano de 2010 e a relação estéril minério neste ano é muito alta em relação às alternativas de teor de corte marginal, viabilidade, análise dos cinco primeiros anos e do caso estudado.

LISTA DE REFERÊNCIAS

ANDRADE A. M. L, VIEIRA. M. J. R, CUNHA S. L. M, KELLER M. C, FULDA R. S, **Indústria do Cobre**, agosto de 1997.

ANDRADE A. M. L, CUNHA S. L. M, GANDRA G. T, **O Cobre brasileiro em ascensão no cenário mundial**, agosto de 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, **Cadeia Produtiva do Cobre: Panorama Internacional e Nacional**, 19 de julho de 1999.

BARRO F., F.V.M, **Lavra de jazidas minerais**, São Paulo, novembro de 1974.

BARRO F., F.V.M; TOLEDO, R.D.S.; GUERRA, P. A. **Estudo de Otimização de Pit**, Nota técnica DIMIN nº 012/78, Interno/Nuclebrás, novembro de 1978.

BATISTA G., **Cut Off Optimization Introduction and Basic Concepts**, abril 2003

BAZANTE, A.J. **A Interação entre o Planejamento e Controle de Qualidade na Maximização da Função Benefício de um Empreendimento Mineral**, tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

BONATES, E.J.L. **Determinação do planejamento ótimo da produção de uma mina usando programação dinâmica**. Tese apresentada no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Dezembro 1992.

CVRD – Rio Doce Geologia e Mineração S/A. **PROJETO SOSSEGO RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA**, março 1998.

DE TOMI, G.; CHAUSSON, D.S.; SILVA, N.S. **Otimização e Sequenciamento de lavra para minas de calcário para cimento**. Belo Horizonte: UFMG, 1998. Simpósio Mineiro-Metalúrgico da Universidade Federal de Minas Gerais, 9. Anais Belo Horizonte : UFMG, 1998.

ELBROND, J.; CAINES, R.E.G. **A new procedure for the calculation of an open pit operations capacity at the Carol Lake operations of in iron ore Company of Canada**. Applications of computers and Operations Research in the mineral industry. 16 th. International symposium. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York, New York – 1979.

GERSHON, M.E. **Mine scheduling optimization with mixed integer programming**. SME, preprints Number 83-324, 1982.

HARTMAN, H.L. **Introductory mining engineering**. The University of Alabama. Tuscalooca, Alabama. 1987. 622p. United States of America.

HUSTRULID W., Kuchta M., **Open Pit Mine – Planning e Design**, Volume 1 – fundamentals, 1998.

KHARCHENKO, V.A. **Long-term planning of mining operations at existing mines**. Applications of computers and Operations Research in the mineral industry. 16 th. International symposium. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York, New York – 1979.

LANE, K.F. **Choosing the Optimum Cut-off Grade**. Quarterly of the Colorado School of Mines, No. 59, 1964, pp. 811-829.

LANE, K.F. **The economic definition of ore**. London, England: Mining Journal Books. (1988).

LERCHS, H. GROSSMANN, I. F. **“Optimum design of open pit”**, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin – v. 58, nº 633, 1965, p. 47 a 54.

MCCARTHY P.L. **Cutoff grades** MAusIMM, CPMin, MMICA, Managing Director, Australian Mining Consultants Pty Ltd, 19/114 William Street, Melbourne Vic 3000, 2002.

Mineração Serra do Sossego S.A – **Estudo de Viabilidade, relatório final**, Maio 2001.

NCL Brasil Ltda, **Fase Adicional Sequeirinho**, outubro 2001.

NCL Brasil Ltda, **Análisis de Ley de Corte Primeros Cinco Años**, novembro 2002.

NORONHA, R.A.; GRIPP, A.H. **Definição e seleção de projeto de cava final em minério de ferro**, 2000.

PINTO, R.L.; CAMPOS, L.H. **Planejamento operacional da lavra de mina usando modelos matemáticos**. REM, Rev. Esc. Minas vol.54 no.3 Ouro Preto Julho/Setembro 2001

RICARDO, H.S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação – terraplanagem e escavação de rocha**. Editora McGraw–Hill do Brasil, 1978.

SCHAAP, W. **Cutoff grade theory as a tool for open pit planning**. 1983

SEYMOUR, F. **Mining sequence and cut off grade schedule that maximizes the net present value**. Draft paper, June 1994.

TOLWINSKI, B., UNDERWOOD, R. **A Scheduling algorithm for open pit mines**. *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, pp. 247-270, 1996.

UNDERWOOD, R.; TOLWINSKI, B. **A mathematical programming viewpoint for solving the ultimate pit problem.** *European Journal of Operational Research*, V. 107, pp. 96-107, 1998.

WHITTLE J. **Beyond optimization in open pit design.** Computer applications in the mineral industry Fytas, Collins & Singhal (eds) © 1988 Balkema, Rotterdam ISBN 906191 7603

WHITTLE, D. **Strategic mine planning and a decision-making.** Strategic mine planning conference, North American, Colorado, August 2000.

WHITTLE, J.; WHARTON, C. **Optimizing cut-offs over time.** 25th international symposium application of computers and mathematics in the mineral industries, 1995b, Australia, pp. 261-265, 1995.

ANEXO 1

```
den=BlockModel.Model("Standard","DENSIDADE", Column, Row, Level)
f=int ( ( Level-1 ) / 5 )
```

```
If f>0 then
  temp=1/( 1.12 ^ f )
Else
  temp=1
End If
```

```
xx=den*temp
```

```
BlockModel.Model("Standard","DensDSCTO_5b/a", Column, Row, Level)= xx
```

ANEXO 2

REM GAGOY - GEOLOGIA CORRIGIDO GALOY em 15/05/2005
REM THIS SCRIPT CALCULATES CuEq Modelo TOTAL 10X10X16 OU
10X10X08

dim cu as single
dim rec as single
dim rocha as integer
dim EqCu as single
dim setor as integer
dim au as single

cu = BlockModel.Model("Standard", "Cu (%)", Column, Row, Level)
au = BlockModel.Model("Standard", "Au (ppm)", Column, Row, Level)
rocha = BlockModel.Model("Standard", "MINERIO", Column, Row, Level)
setor=BlockModel.Model("Standard", "Setores", Column, Row, Level)

If cu < 0.01 then

rec=0

end if

If cu >= 0.01 then

If setor=10 or setor=20 or setor=30 or setor=40 then

If rocha = 4 then

rec = ((1.582*Log(cu)+95.302)*0.974)/100

end if

end if

If setor=70 or setor=80 or setor=90 then

If rocha = 4 then

rec = ((1.582*Log(cu)+95.302)*0.974)/100

end if

end if

If rocha=3 then

rec = 0.50

end if

if rocha=1 or rocha=2 then

rec = 0

End If

End If

BlockModel.Model("Standard", "recuperacao", Column, Row, Level)=rec

REM Rec Au = 80%

REM Pr Au = 360 US\$/oz

REM Sell Au = 2.27US\$/oz

REM Pr Cu = 1.00 US\$/lb

REM Sell Cu = 0.3321 US\$/lb

REM Smelter Recovery Cu 96.64%

REM Smelter Recovery Au 93.45%

REM const = (0.8 * 0.9345 * (360 - 2.27) /31.103 /22.0462 / (1.00 - 0.3321) /
0.9664)

REM temp = 0.60424531

If rec >0 then

EqCu = cu + (au * 0.60424531 / rec)

Else

EqCu = cu

End If

BlockModel.Model("Standard", "Cu equivalente", Column, Row, Level)= EqCu

LANE Versión 1.000

INTRODUÇÃO

O sistema toma como dados Lane é uma ferramenta de otimização de cut off para determinado período de planos de produção.

a curva tonelagem/teor por banco por fases, uma seqüência de extração, restrições de fluxos de material e custos, em geral otimiza o plano de produção com o ótimo teor de corte.

TEORIA DE OPERACÃO

O sistema faz análises da seguinte forma:

Inicia-se com um teor de corte inicial (especificado pelo usuário), gera automaticamente um plano de produção. O sistema gera um plano de produção obedecendo às metas de material especificada no calendário. O algoritmo, tenta adiantar o estéril para cumprir o limite de movimentação do material. A movimentação de material se restringe também pelo o limite de produção final por período.

Dessa forma, se inicia com o primeiro período do ano (cada período assume um ano para a aplicação da taxa de desconto). Aplica-se um por um, cada teor de corte combinando a curva de tonelagem/teor. Para cada um se gera um plano de produção (mantendo os teores de corte nos períodos seguintes de um plano constantes em seus valores iniciais), que se avalia. Para o período, aumenta-se o teor de corte cujo plano de produção gerando o melhor valor total da mina.

Depois de entrar todos os períodos, o teor de corte calculado substitui os valores iniciais, e se repete o exercício descrito anteriormente. Para cada período se varia o teor de corte buscando o melhor valor da mina, com a diferença que os teores de corte para os períodos remanescentes estão fixas nos valores calculados na interação anterior, nos valores iniciais especificados pelo usuário.

Este processo se repete basta que os teores de corte mudem durante uma interação.

USO DO SISTEMA

1. As Combinações

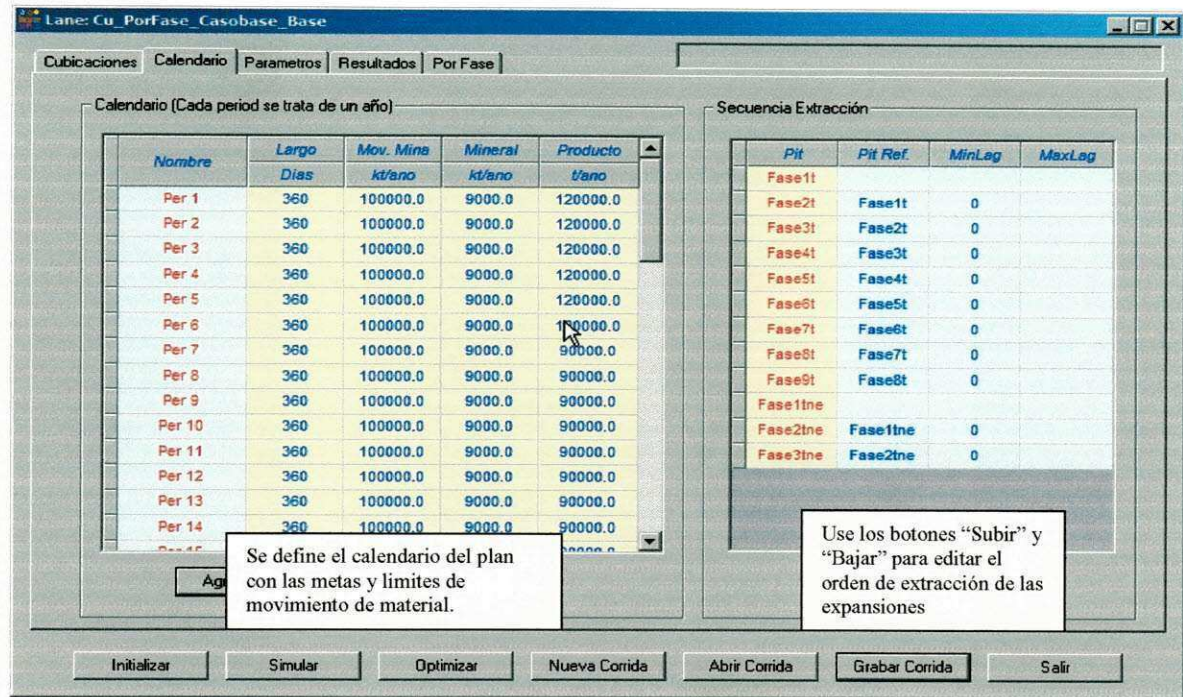
O primeiro passo é carregar as cubagens (curvas tonelagem/teor) para o sistema. As cubagens devem-se ser preparada fora do sistema LANE.

O formato do arquivo está descrito no apêndice A.

The screenshot shows the LANE software interface with a menu bar (Cubicaciones, Calendario, Parametros, Resultados) and a data table. The table has columns for 'FaseIt', 'Lastre', and two groups of columns for '0.000' and '0.001' (kTon, Ben, Cu, Cur). Below the table are buttons for 'Nueva Corrida', 'Abrir Corrida', 'Grabar Corrida', and 'Salir'. Two callout boxes provide instructions: 'Se pueden revisar las cubaciones fase por fase.' pointing to the table, and 'Acá se cargan las cubaciones.' pointing to the 'Grabar' button.

FaseIt	Lastre kTon	0.000				0.001			
		kTon	Ben	Cu	Cur	kTon	Ben	Cu	Cur
2350.0		0.0							
2340.0	0.0	15.7							
2330.0	0.2	185.5		0.0790	0.0400				
2320.0	0.8	698.0		0.1090	0.0500	8.9	0.3080	0.4610	0.2300
2310.0	0.3	1411.4		0.1540	0.0700	70.7	0.2340	0.4440	0.2100
2300.0	0.1	1334.6		0.1540	0.0700	82.8	0.2900	0.4480	0.2200
2290.0	0.1	1461.9		0.1170	0.0500	59.7	0.2750	0.4460	0.2200
2280.0		601.8		0.1340	0.0600	15.7	0.1970	0.4350	0.2100
2270.0		146.6		0.2380	0.1100	27.0	0.1850	0.4360	0.2100
2260.0		74.4		0.3870	0.1800	36.6	0.2740	0.4460	0.2200
2250.0		28.0		0.3400	0.1500	14.2	0.2390	0.4420	0.2100

2. O “Calendário” e a “seqüência Extracción”



No quadro do “calendário” especifica-se:

- Os períodos do calendário, ao longo de cada período.
- As metas de alimentação da usina para cada período.
- Os limites de movimentação material e produção de produtos finais por período (estas cifras são operacionais).

No quadro o “secuencia Extracción” especifica-se:

- A ordem de extração entre as expansões.
- A mínima e máxima separação entre as expansões ditam como tonelagem.

O término “MinLag” se refere à separação mínima em tonelagem entre o pit especificado na coluna “Pit” y el pit especificado na coluna “PitRef”. É decidir, o exemplo da imagem acima, o pit Fase2t com o pit de referencia (PitRef) “Fase1t” tem um “MinLag” de 0 tonelagem. Isto significa que a separação mínima entre Fase1t e Fase2t é 0 tonelagem. O plano de produção, isto se traduz na extração total da Fase2t não podendo exceder a extração total da Fase1t, em qualquer ponto do plano.

O MinLag é uma maneira de assegurar que a geometria do desenho é respeitada. Por exemplo neste caso o desenho não permite que a Fase2t à frente da Fase1t, e a restrição de um MinLag de 0 tonelagem assegure isto.

O “MaxLag” é uma forma de especificar a máxima separação das fases.

O MaxLag é uma maneira que o usuário pode assegurar um “overlap” entre fase na elaboração do plano de produção.

Notese: a especificação de uma “máxima” separação entre fases não é necessário na maioria dos casos. Sim se especificar, o sistema não tentará a “suavizar” o plano automaticamente.

Os “Costos y Ingresos”

The screenshot shows a software window titled 'Lanz: Cu PorBanco Check' with a menu bar containing 'Cubicaciones', 'Calendario', 'Parametros', 'Resultados', and 'Por Fase'. The main area is titled 'Parametros de Costos/Ingresos' and contains several tables and input fields. The top right corner displays 'Iter 4 Valor \$MUS 472.2 (2 mina)'. The tables are organized into three rows of three columns each, with headers 'Prim. Per.', 'Ult. Per.', 'Pit', and 'Valor'. The first row contains 'Costo Mina Lastre (US\$/Ton Min)', 'Costo Mina Mineral (\$US/Ton Min)', and 'Costo Planta (US\$/Ton Min)'. The second row contains 'Costo Fundición (\$US/Ton Conc)', 'Costo Ventas (US\$/lb)', and 'Precio (UScent/lb)'. The third row contains 'Otros Parametros' with input fields for 'Ley Conc. (%)', 'Recuperación (%)', 'Tasa de Interes (%)', 'Valor Rem. (M\$US)', and 'Tol. Suav. Plan (Mton)'. A checkbox for 'Beneficio como ley del modelo' is also present. At the bottom, there are buttons for 'Inicializar', 'Simular', 'Optimizar', 'Nueva Corrida', 'Abrir Corrida', 'Grabar Corrida', and 'Salir'.

Prim. Per.	Ult. Per.	Pit	Valor
Todo	Todo	Todo	0.650000

Prim. Per.	Ult. Per.	Pit	Valor
Todo	Todo	Todo	0.650000

Prim. Per.	Ult. Per.	Pit	Valor
Todo	Todo	Todo	3.300000

Prim. Per.	Ult. Per.	Pit	Valor
Todo	Todo	Todo	0.130000

Prim. Per.	Ult. Per.	Pit	Valor
Todo	Todo	Todo	85.000000

Otros Parametros

Ley Conc. (%)	0	Tasa de Interes (%)	10	Tol. Suav. Plan (Mton)	5
Recuperación (%)	0	Valor Rem. (M\$US)	0	<input type="checkbox"/> Beneficio como ley del modelo	

Buttons: Inicializar, Simular, Optimizar, Nueva Corrida, Abrir Corrida, Grabar Corrida, Salir

Os parâmetros usados para o calculo são os seguintes:

Costo Mina Lastre: US\$/ton de estéril removido.

Costo Mina Mineral: US\$/ton de minério removido.

Costo Planta: US\$ /ton da planta.

Costo Fundición: US\$/ton de concentrado.

Costo Venta: US\$/lb de produto final.

Precio: O preço de cobre (\$US\$/lb).

Todo o parâmetro mencionado anteriormente pode-se especificar por seção de período do plano, e por Fase.

Outros parâmetros que se especifica para o sistema podem fazer os cálculos:

Ley de Concentrado: o teor de concentrado (%). Tem-se que especificar um teor de concentrado, somente, caso haja um custo de fundição específico.

Recuperación: a recuperação (%).

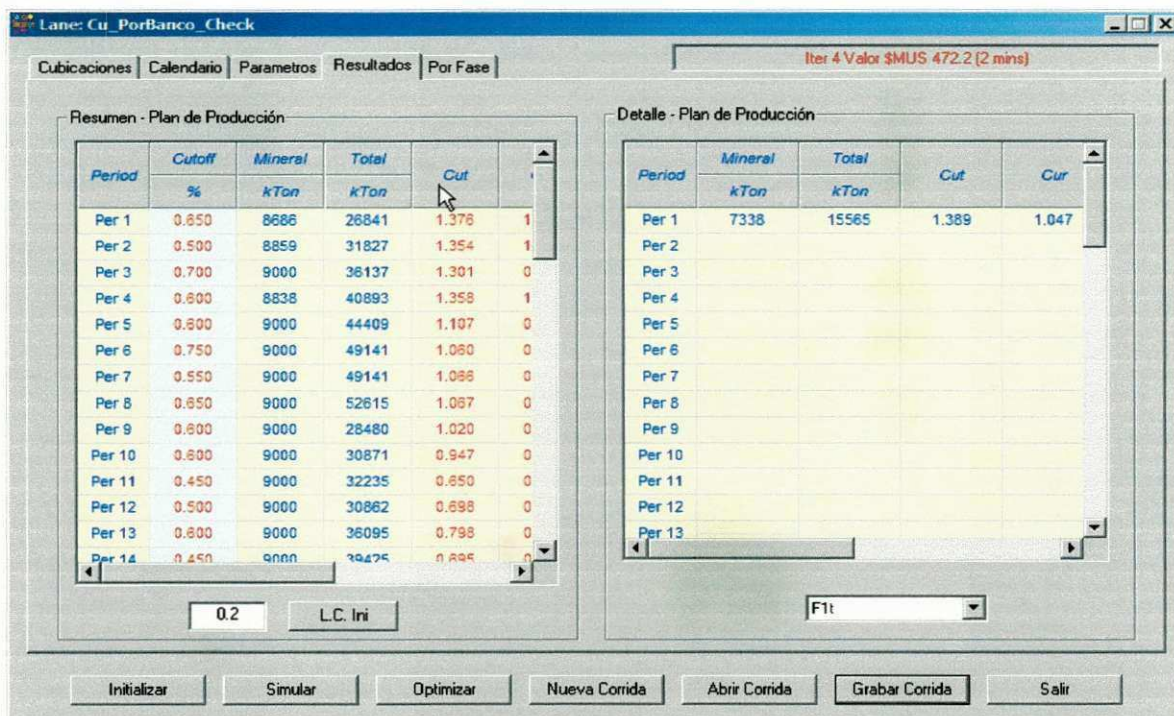
Tasa de Interés: A taxa de desconto aplicado nos cálculos de Lane.

Valor Remanente: o valor remanescente da mina depois que se esgotar o material da cubagem.

Beneficio como Ley del Modelo: Se esta opção esta clicada, o sistema usa o teor do modelo marcado como “Beneficio” para calcular os ganhos, no conjunto com os custos especificados neste campo.

3 Resultados

Neste menu de resultados, se faz as análises e revisa os resultados.



As análises de Lane se dar da seguinte forma:

Inicializar el Análisis: Depois de entrar com todos os dados, inicializa as análises.

Especificar Leyes de Corte Inicial: Com **L.C. Ini** se especifica teor de corte de partida das análises.

Simular: Gera um plano de produção com os parâmetros especificados.

Otimiza: Esta Opção faz a simulação.

Todos os resultados desta tabela podem ser transportados facilmente para o Excel.

O plano de produção também pode revisar o nível de expansão no menu: “Por Fase”.

Lane: Cu PorBanco_Check

Cubicaciones | Calendario | Parametros | Resultados | Por Fase | Iter 4 Valor \$MUS 472.2 (2 mins)

Plan de Producción - Por Fase

Period	F1t	F2t	F3t	F4t	F5t	F6t	F7t	F8t	F9t	F1tne	F2tne	F3tne	Total
Per 1	15565	11276											26841
Per 2		8202	11898	6060	5667								31827
Per 3		1151	20454	6060	8473								36137
Per 4			2311	27149	8473	2961							40893
Per 5				4229	37219	296							44409
Per 6					37452	11689							49141
Per 7					11545	37596							49141
Per 8					976	51639							52615
Per 9						16023	12457						28480
Per 10						9564	21307						30871
Per 11						218	32017						32235
Per 12							27380		3483				30862
Per 13							17850	11865	3483	1889	1008		36095
Per 14							4324	25936	4983	3173	1008		39425
Per 15								21769	16492	3815	2018		44093
Per 16								4688	37603	4458	4032		50780

