

**PATRICK CARMO DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DO SEQUENCIAMENTO DE LAVRA PARA AVALIAÇÃO  
DA ATRATIVIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO DE MINA**

São Paulo  
2012

**PATRICK CARMO DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DO SEQUENCIAMENTO DE LAVRA PARA AVALIAÇÃO  
DA ATRATIVIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO DE MINA**

Trabalho de formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica de Universidade de São Paulo.

Orientador: Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo

2012

TF-2012  
Ol3a

sy no 2448241

H2012L

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009742

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Oliveira, Patrick Carmo de**

**Análise do sequenciamento de lavra para avaliação de atratividade econômica de um projeto de mina / P.C. de Oliveira.**  
-- São Paulo, 2012.

24 p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.**

**1. Minas (Projeto; Aspectos econômicos; Avaliação) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.**

## Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me apoiaram em todos os sentidos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus professores por todo conhecimento transmitido durante esses anos, a todos meus amigos que de alguma forma contribuíram para que um dia eu fosse capaz de escrever esse trabalho e aos meus familiares pelo apoio de sempre.

Agradeço à Votorantim Metais e aos Engenheiros Bruno Farah Maciel e Alexandre Marcos Petermann pelo apoio dado para realização desse trabalho.

Em especial devo um agradecimento ao Professor Giorgio Francesco Cesare de Tomi pela grande ajuda na composição desse trabalho, ao Professor José Renato Baptista de Lima pela grande ajuda durante minha graduação e ao Professor Sergio Médici de Eston pela confiança depositada em mim num momento em que poucos o fariam.

Agradeço aos meus amigos de infância Lelê, Handeco, Marreco, Fabio e Waltinho por sempre ao meu lado, aos meus amigos da AAAP que sempre me ajudaram em todos os sentidos, aos amigos da Poli-Minas que tiveram que me agüentar desesperado por cinco anos e, mais recentemente, aos amigos da África do Sul. Todos eles sempre estarão no meu coração.

Também devo um agradecimento à Danielle e sua mãe Luisa que nesses oito anos sempre me deram ótimos conselhos e torcem muito por mim.

Ao meu primo Ricardo que junto com sua mãe e sua irmã são de enorme importância na minha formação como pessoa e eu sempre deverei muito a eles.

Devo um especial agradecimento ao meu amigo Panachão que não cansou de me ajudar nesses anos de Poli, das mais simples ajuda como tirar uma dúvida durante os estudos para uma prova de Cálculo 2, até dar uma oportunidade para eu me erguer profissionalmente.

À minha filha pela força que ela me dá todos os dias.

Mas principalmente aos meus pais pelo apoio incondicional dado em todos os momentos e em todos os sentidos, pelo aprendizado, pelo carinho e por sempre acreditarem em mim.

## **RESUMO**

A crescente concorrência global, padrões de qualidade, consciência ambiental e a constante variação dos preços dos minérios impõem novos desafios às indústrias minerais. Portanto, na extração de recursos minerais, não basta que um projeto seja bem desenhado e seqüenciado, deve-se sempre buscar novas alternativas. Uma das alternativas é a lavra seletiva, onde se aumenta o custo operacional, mas reduz o custo de capital e aumenta a recuperação. Este trabalho visa à aplicação da lavra seletiva em um projeto que possui muitas irregularidades das zonas mineralizadas tentando melhorar sua atratividade econômica.

**Palavras-Chave:** Planejamento, seqüenciamento, lavra seletiva, fluxo de caixa e indicadores econômicos.

## **ABSTRACT**

Increased global competition, quality standards, environmental conscience and the constant variation in mineral prices impose new challenges to the mineral industries. Thus, the extraction of mineral resources, do not enough a project that is well designed and scheduled, must always look for new alternatives. One alternative is the selective mining, which increases the operating cost, but reduces the cost of capital and increases the recovery. This work involves the application of selective mining on a project with many irregularities of the mineralized zones attempting to improve their economic attractiveness.

**Keywords:** Mining planning, scheduling, selective mining, cash flow and economic indicators.

.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama da metodologia do projeto.....  | 12 |
| Figura 2. Sólido Geológico. (1) Todos as áreas; (2) Área 2; (3) Área 3; (4) Área 1 ..... | 15 |
| Figura 3. Modelo de Blocos. (1) Todos as áreas; (2) Área 2; (3) Área 3; (4) Área 1 ..... | 15 |
| Figura 4. Cava ótima do caso base .....  | 16 |
| Figura 5. Cavas finais operacionais do caso base na superfície.....                      | 17 |

## **TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Tamanho da carregadeira versos seu valor operacional. (Fourir, 1992). .... | 11 |
| Tabela 2. Resumo do LOM da mina .....  | 17 |
| Tabela 3. Indicadores Financeiros do Caso Base .....                                 | 18 |
| Tabela 4. Resumo do LOM da mina para 5 metros de espessura .....                     | 19 |
| Tabela 5. Indicadores Financeiros para 5 metros de espessura.....                    | 20 |
| Tabela 6. Resumo do LOM da mina para 2,5 metros de espessura .....                   | 20 |
| Tabela 7. Indicadores Financeiros para 2,5 metros de espessura.....                  | 20 |
| Tabela 8. Comparação entre os casos estudados.....                                   | 21 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....                              | 9  |
| 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                               | 10 |
| 3 – METODOLOGIA DO ESTUDO.....                               | 12 |
| 4 – CASO BASE.....   | 14 |
| 4.1 - Geologia.....  | 14 |
| 4.2 - Método de Lavra e Operação.....                        | 16 |
| 4.3 - Sequenciamento.....                                    | 17 |
| 4.4 - Avaliação dos Indicadores do Resultado Financeiro..... | 18 |
| 5 – ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES.....                              | 19 |
| 5.1 - Estudo para 5 metros de espessura.....                 | 19 |
| 5.2 - Estudo para 5 metros de espessura.....                 | 20 |
| 5.3 - Análise Comparativa.....                               | 21 |
| 6 – CONCLUSÃO.....   | 22 |
| 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                          | 23 |

## 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A crescente concorrência global, padrões de qualidade, consciência ambiental e a constante variação dos preços dos minérios impõem novos desafios às indústrias minerais. Portanto, na extração de recursos minerais, não basta que um projeto seja bem desenhado e seqüenciado, deve-se sempre buscar novas alternativas.

Esse trabalho foi baseado em um projeto real de uma grande indústria. É um projeto de um depósito polimetálico (Cu+Pb+Zn+Ag±Au) que está localizado na região sul do país.

Os objetivos desse trabalho são:

- Propor uma metodologia para avaliar o impacto da seletividade de lavra em minas a céu-aberto
- Analisar a atratividade econômica da mina após a aplicação da lavra seletiva
- Avaliar o impacto de uma estratégia seletiva sobre as diferentes etapas do planejamento de lavra.

O trabalho inicia-se com o desenvolvimento de um cenário base, passa pela elaboração de novos cenários com utilização de lavra seletiva e realiza a comparação dos indicadores econômicos dos novos cenários desenvolvidos.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura considera a existência apenas de dois tipos de frentes de produção, estas frentes são chamadas de frente de minério ou frente de estéril. Isso significa que todo o material retirado da frente de minério será transportado para o britador e que todo o material retirado das frentes de estéril será depositado na pilha de estéril. Quando em uma frente existe mais de um tipo de material, ela é classificada em frente de minério ou de estéril de acordo com o teor médio do elemento químico que define o minério. Com essa metodologia, a empresa perde produção ao classificar como estéril um material que contém minério. Entretanto, com o avanço tecnológico, as empresas do setor mineral passaram a adotar o método de lavra seletiva (Pantuzza e Souza, 2010).

Lavra Seletiva é um método adotado de forma que minimiza a diluição e, teoricamente, é possível que até o menor bloco seja extraído separadamente como minério ou como estéril de forma previamente estabelecida (Rendu e Mathieson, 1990). Esse é um método especialmente vantajoso quando o minério e o estéril estão intercalados ou quando a teor de corte é relativamente elevada (Switzer e Parker, 1976).

Entende-se então que a lavra seletiva é um meio em que um minério é extraído separadamente do estéril, isso aumenta a recuperação do minério e torna a alimentação da usina mais adequada, podendo assim aumentar a rentabilidade de um empreendimento.

Durante os estudos geológicos os dados de perfuração de exploração são relativamente grandes. Esta escala de observações é normalmente muito maior do que o tamanho de um bloco de interesse na mineração seletiva, com isso, defini-se as chamadas Unidades Seletivas de Mineração (SMU) para facilitar o estudo do planejamento de mina.

Os equipamentos de mineração, se usados em condições favoráveis, podem ter a capacidade de extrair dentro de poucos metros com excelente seletividade. O tamanho SMU depende de diferentes fatores, incluindo o tamanho do equipamento de mineração, o método de mineração a ser usada, a direção de exploração e o ambiente de deposição da jazida. A definição convencional da unidade de mineração seletiva (SMU) é o tamanho do modelo bloco que prevê corretamente a massa de minério e seu teor e a massa de estéril que a usina irá receber com um bom controle. Este tamanho deve estar relacionado com a capacidade do equipamento que irá selecionar o material, mas também é baseado nos dados disponíveis para classificação dos furos de sondagem ou furos de desmonte. (Leuangthong, Lyster, Neufeld e Deutsch, 2004).

A lavra seletiva requer um cálculo de custos distinto da mineração direta. Para qualquer caso de exploração de minério altamente seletivo, os custos operacionais são maiores devido às taxas de produção mais lentas, mais apertado controle de supervisão e requisitos de equipamentos extras, isso ocorre devido à necessidade de equipamentos de menor capacidade (Fourir, 1992). A tabela 1 abaixo foi mostrada os custos dos equipamentos em 1992, esse exemplo está sendo usado como referência para quantificar o impacto no ganho de escala.

| Shovel size,<br>kW | Operating cost,<br>\$/hr |
|--------------------|--------------------------|
| 250                | \$ 71.45                 |
| 375                | 87.65                    |
| 525                | 111.75                   |
| 625                | 121.80                   |
| 725                | 134.65                   |

Tabela 1. Tamanho da carregadeira versus seu valor operacional. (Fourir, 1992).

Logo, ao mesmo tempo em que a lavra seletiva promove uma maior recuperação do minério e uma alimentação com maior teor a usina, ela gera um aumento no custo operacional proporcional a seletividade, ou seja, quanto mais seletivo se deseja ser, maior será o custo operacional da mina.

O custo de capital de uma usina é, normalmente, muito alto e está diretamente ligado a sua alimentação. Uma regra básica utilizada pela indústria para relacionar a capacidade com o investimento é a "regra dos seis décimos" representada a seguir eq. (1) (Chaves, 2002):

$$\frac{\text{Investimento na usina 1}}{\text{Investimento na usina 2}} = \left( \frac{\text{Capacidade da usina 1}}{\text{Capacidade da usina 2}} \right)^{0,6} \quad (1)$$

A lavra seletiva deve ser praticada de forma tal que busque a alimentação mais apropriada para a usina, aumentando o teor do minério e reduzindo alimentação da usina sem alterar a produção final desejada. Cabe ao projetista definir a melhor unidade de lavra seletiva de maneira que a redução do custo de capital seja favorável em relação ao aumento do custo operacional (Peters, 1992).

### 3 – METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia utilizada para melhorar os indicadores do resultado financeiro nesse trabalho pode ser apresentada no diagrama a seguir:

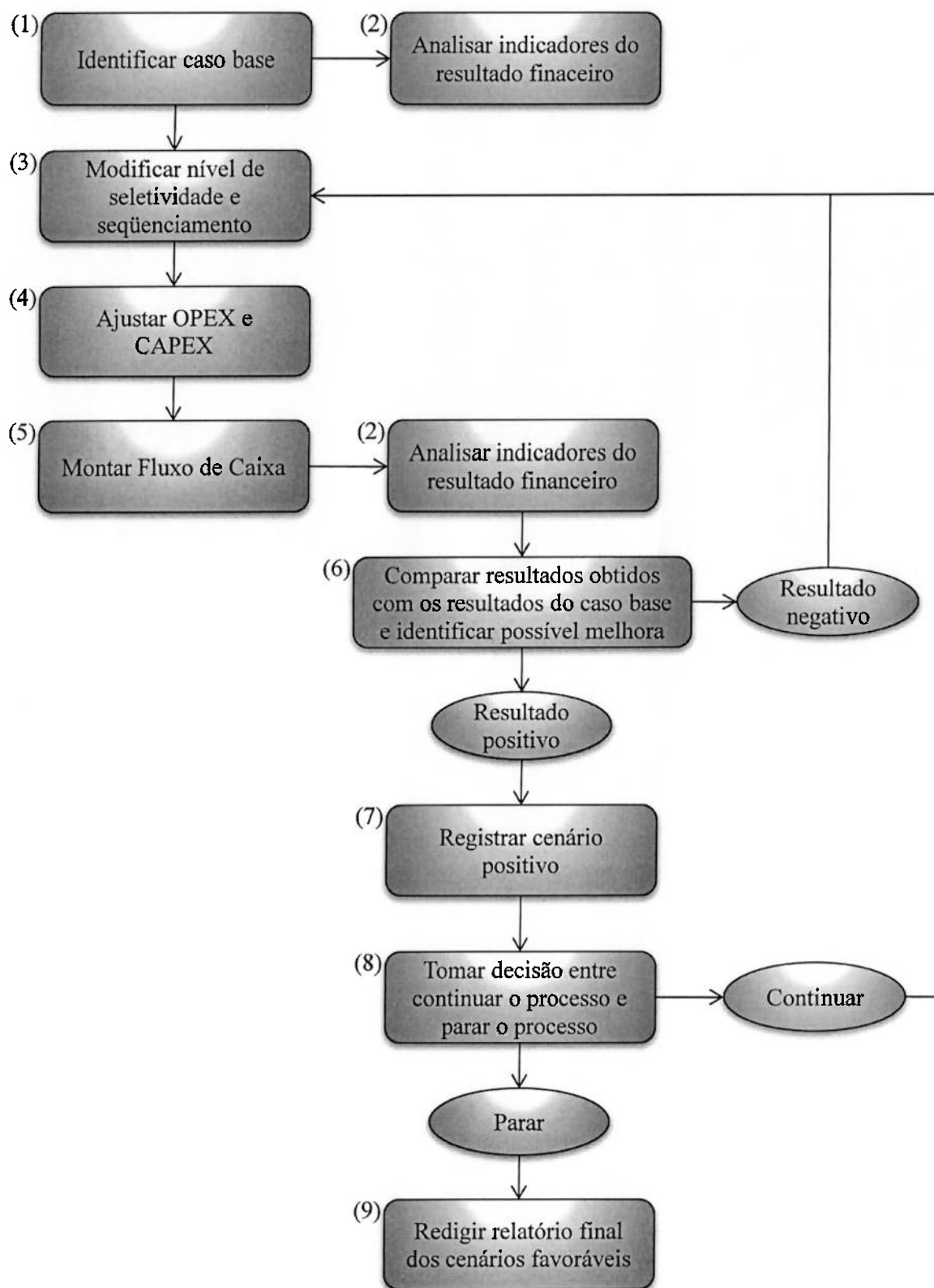


Figura 1. Diagrama da metodologia do projeto

A descrição das atividades principais da metodologia proposta na Figura 1 está apresentada a seguir:

- (1) Identificar caso base: Etapa que consiste em estudar o caso base como um todo e identificar possíveis pontos de melhora.
- (2) Analisar indicadores do resultado financeiro: Essa etapa consiste em avaliar os principais indicadores financeiros, Custo de Capital (CAPEX), Custo Operacional (OPEX), Valor Presente Líquido (VPL), *Payback*, após o primeiro desembolso e Taxa Interna de Retorno (TIR).
- (3) Modificar nível de seletividade e seqüenciamento: Essa etapa consiste em modificar a espessura de seletividade e atualizar o seqüenciamento.
- (4) Ajustar OPEX e CAPEX: Modificar os valores de CAPEX e OPEX de acordo com a seletividade escolhida.
- (5) Montar fluxo de caixa: Montar fluxo de caixa com o novo seqüenciamento e com o OPEX e CAPEX ajustados.
- (6) Comparar resultados obtidos com os resultados do caso base e identificar possível melhora: Consiste em comparar os resultados financeiros do caso base com os resultados depois de aplicada certa seletividade. Caso os novos resultados sejam positivos, seguir para a próxima etapa, em caso negativo, retornar etapa onde foram modificadas as premissas e alterar a seletividade.
- (7) Registrar cenários positivos: Essa etapa consiste apenas em registrar o resultado obtido.
- (8) Tomar decisão entre continuar o processo e parar o processo: Etapa onde se decide entre parar o processo e continuar.
- (9) Redigir relatório final dos cenários favoráveis: Elaboração do relatório final e escolha do melhor cenário.

## 4 – CASO BASE

Foi utilizado como caso base de estudo o projeto já existente de pré-viabilidade do empreendimento em questão.

Nesse estudo de pré-viabilidade foram definidas as principais premissas do projeto e foram feitos os primeiros estudos que servirão de referência para a sequência do projeto. Também nessa etapa foi criado o modelo de blocos, foi tomada a decisão quanto ao método de lavra, foi feito o primeiro seqüenciamento, foi feito um fluxo de caixa inicial e as primeiras análises financeiras.

Todo o processo do caso base será descrito, pois é de suma importância para a compreensão e a aplicação da metodologia descrita nesse trabalho.

### 4.1 - Geologia

Os dois principais tipos de minerais de minério, esfalerita e galena, estão hospedados em arenitos. Assumem forma filoniana (alto teor - maciço) ou na forma de stringer, sempre associados a brechas e fraturas, relacionadas ao sistema hidrotermal mineralizador, ou na forma disseminada, paralela ao acamamento da encaixante. Subordinadamente calcopirita e pirita, além da bornita e calcosita, ocorrem como pontos espaços na matriz dos conglomerados e arenitos. Os diferentes tipos de minério, segundo morfologia e conteúdo de sulfeto, foram classificados da seguinte forma:

- Sulfetos Disseminados (DS): caracterizam-se por intervalos entre 5%-60% de sulfetos totais. Dispõe-se paralelamente ao acamamento da encaixante com ga+sp com granulação muito fina, por vezes exibindo textura em "nuvens";

- Stringer (ST): caracteriza-se como zona de minério tipo *stock work*, contendo 5-60% de sulfetos totais, porém sempre preenchido zonas brechadas e/ou fraturadas

O corpo de minério estende-se por 4 km, ao longo de um *trend* preferencial NNE. Encontra-se truncado por sistema de falhamento N30-50W que segmenta o corpo em três ocorrências, denominadas de sul para norte como Área 1, Área 2 e Área 3. 60% do minério conhecido concentra-se na Área 3.

As litológicas foram determinadas através das descrições dos testemunhos dos furos de sondagem feitos da área de estudo, visando o maior conhecimento sobre o corpo e sua interpretação. A interpretação do corpo foi feita através dos furos realizados (em seções verticais e posteriormente horizontais) visando o conhecimento volumétrico do corpo o qual foi preenchido com blocos de dimensões regulares que foram utilizados para atribuir a litologia no modelo de blocos. Alguns furos de sondagem foram enviados a laboratórios onde foram feitas análises químicas para se determina os teores das amostras. Com isso por métodos estatísticos e geoestatísticos puderam-se estimar os teores de cada bloco que foram criados a partir do corpo de minério interpretado.

No caso em estudo foi utilizado o modelo de blocos criado por uma equipe de geologia da empresa dona do projeto. Os blocos possuem as seguintes dimensões, 12 metros de largura e comprimento por 10 metros de altura com sub-blocos de ate 1,0 cm. A seguir duas figuras a primeira mostrando o sólido interpretado a partir dos furos e a segunda a parte do o modelo de

bloco que representa o stringer feito a partir do sólido, ambas as figuras não apresentam estéril.

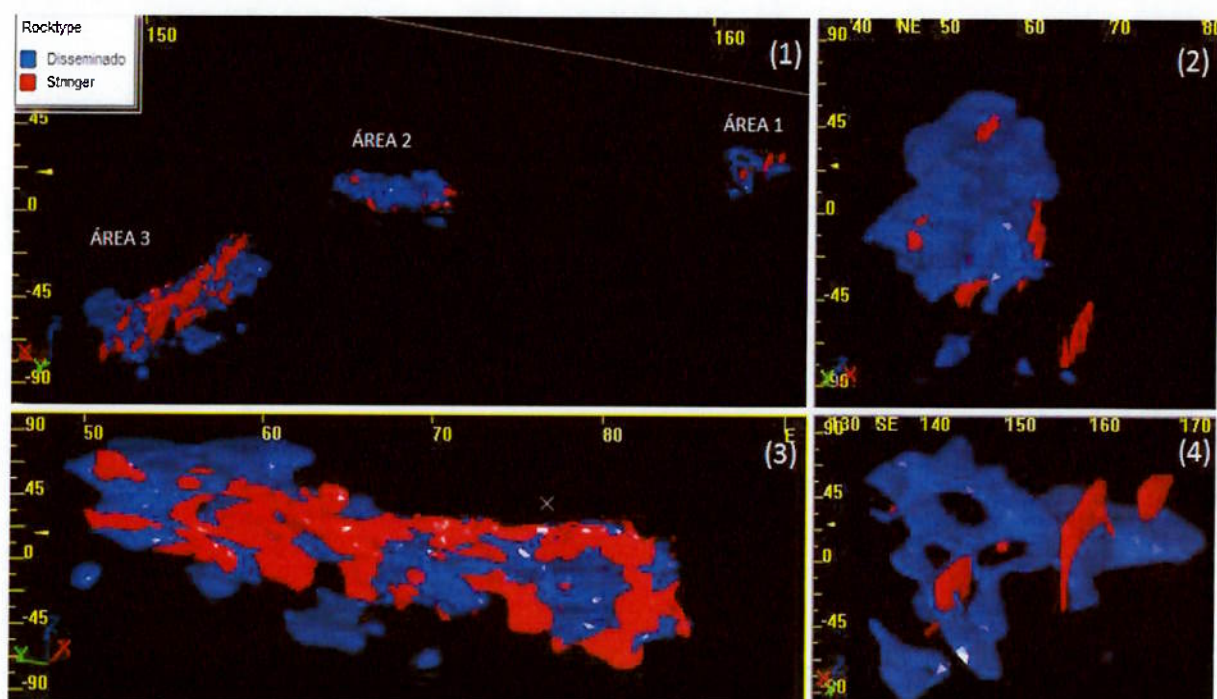


Figura 2. Sólido Geológico. (1) Todas as áreas; (2) Área 2; (3) Área 3; (4) Área 1

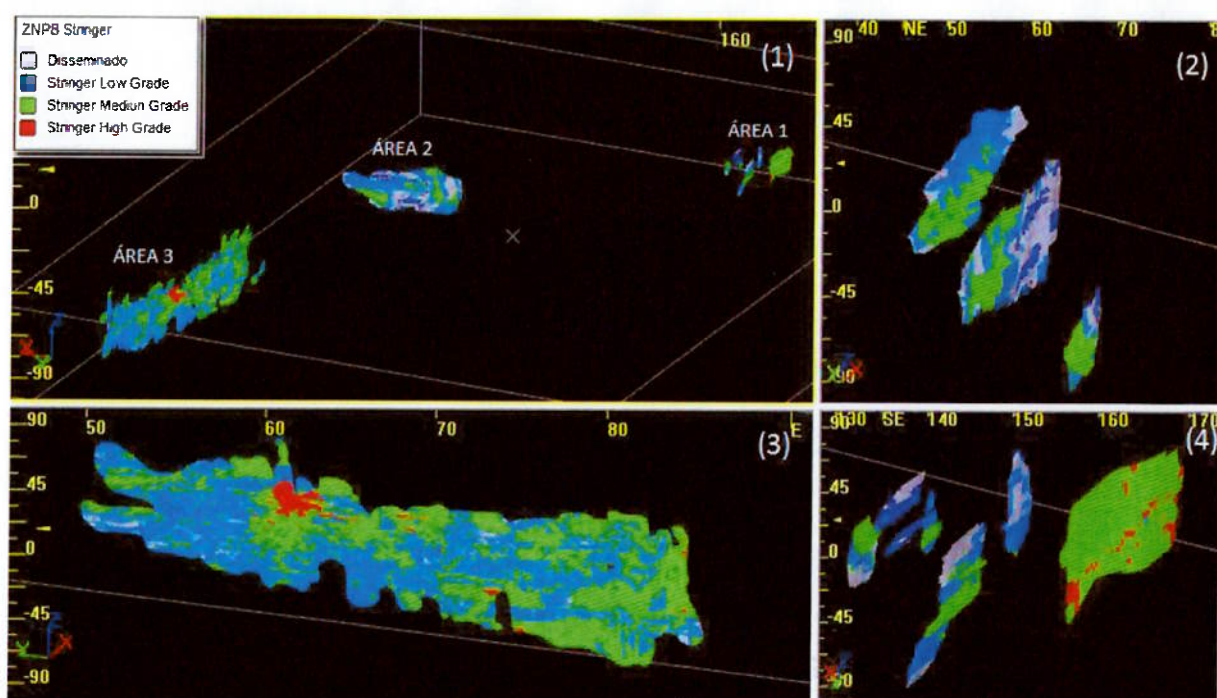


Figura 3. Modelo de Blocos. (1) Todas as áreas; (2) Área 2; (3) Área 3; (4) Área 1

## 4.2 - Método de Lavra e Operação

Primeiramente foi feito um estudo para decisão entre uma mina a céu aberto e subterrânea.

O método de mineração a céu aberto foi estudado primeiramente devido à proximidade do corpo de minério com a superfície e seu teor relativamente baixo em diversos pontos.

As premissas para o estudo da cava foram:

- Altura da bancada de 10 metros
- Largura da berma de 5 metros
- Ângulo de face de  $72^\circ$
- Ângulo de inclinação total de  $50^\circ$
- Recuperação 90%
- Diluição 5%

Para o teste de mina a céu aberto foi utilizado um software de otimização que gerou a seguinte cava ótima:

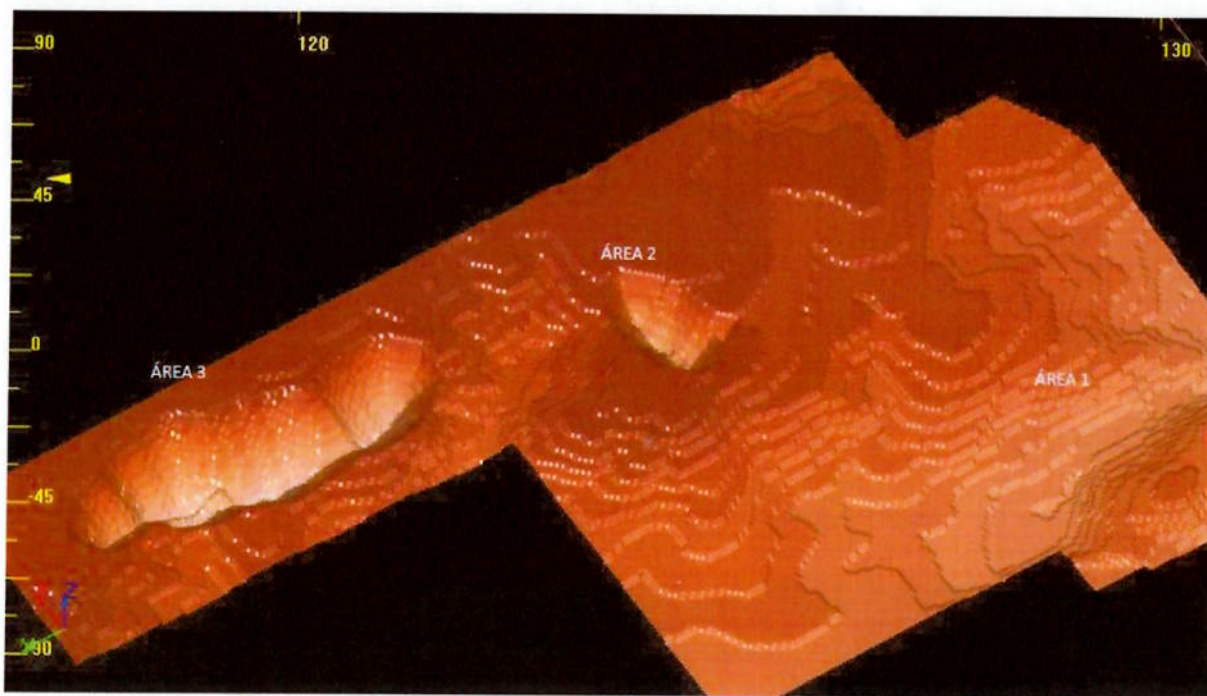


Figura 4. Cava ótima do caso base

Como facilmente observado, a área 1 não é viável ao projeto. A partir dessa cava foi gerada a cava operacional.

O método de lavra subterrânea testado foi *sublevel stoping* para as áreas 1 e 3 e o *sublevel caving* para a área 2. Não foi necessário sequenciar, uma vez que os gastos com o desenvolvimento da mina subterrânea foram maiores que a receita máxima possível.

O método de mineração a céu aberto foi escolhido como base inicial do projeto.

### 4.3 - Seqüenciamento

O seqüenciamento foi feito em 3 etapas:

1. Desenho das cavas finais operacionais;

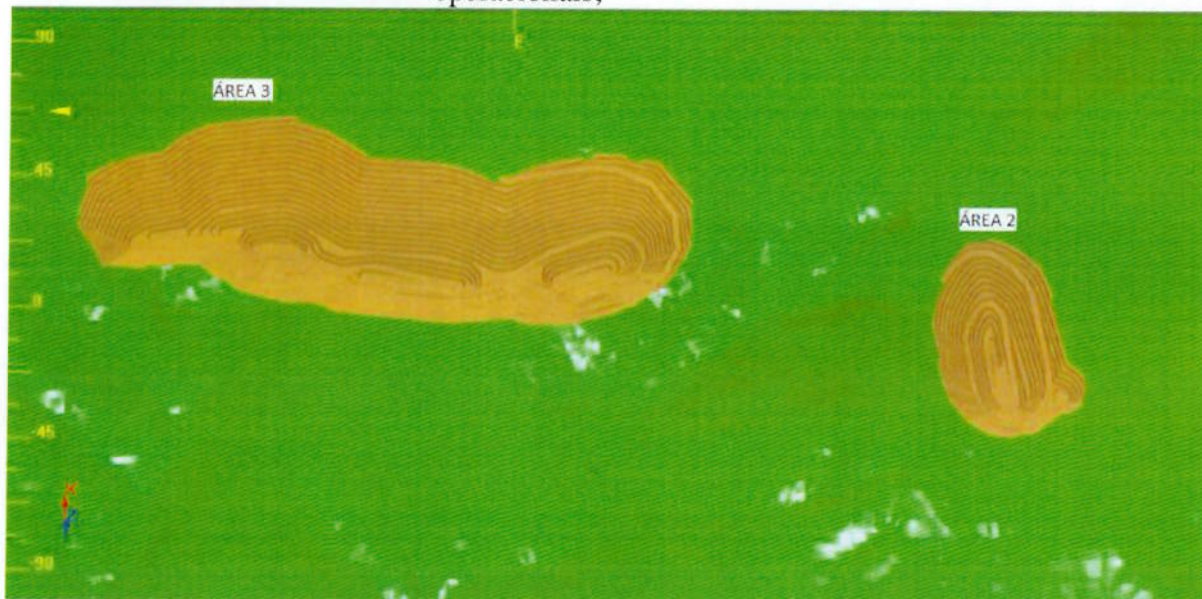


Figura 5. Cavas finais operacionais do caso base na superfície.

2. Escolha e desenho dos *pushbacks*, foram definidos como ideal quatro *pushbacks*;
3. Seqüenciamento da cava operacional através do mesmo software que criou a cava ótima, buscando o melhor seqüenciamento por parâmetros escolhidos previamente, para esse projeto procurou-se controlar a relação estéril/minério e a produção mínima de minério.

Após realização dessas etapas foi obtidas as seguintes informações:

|                                 |      |            |
|---------------------------------|------|------------|
| Total de Rocha                  | ton. | 78 948 078 |
| Relação Estéril / Minério       |      | 4,018      |
| Total de Stringer               | ton. | 8 939 108  |
| Total de Disseminado            | ton. | 6 792 878  |
| Total de Stringer no Estéril    | ton. | 952        |
| Total de Disseminado no Estéril | ton. | 5 732 560  |
| Total de Estéril                | ton. | 57 482 409 |
| Total de Zinco Contido          | ton. | 246 966    |
| Total de Chumbo Contido         | ton. | 351 831    |
| Total de Cobre Contido          | ton. | 7 529      |
| Total de Prata Contida          | ton. | 1 788      |

Tabela 2. Resumo do LOM da mina

Conforme visto na Tabela 2 parte do minério é torna-se estéril devido à diluição.

#### 4.4 - Avaliação dos Indicadores do Resultado Financeiro

A empresa que estuda a viabilidade do projeto realizou um estudo cuidadoso das premissas financeiras do projeto. Dentro desse estudo são destacados como os mais importantes:

- Os valores futuros das variáveis macroeconômicas do projeto, tais como os valores futuros dos metais em questão pela *London Metal Exchange* (LME), valor futuro dos concentrados em questão e o valor do dólar;
- Testes metalúrgicos para avaliar a recuperação do minério na Usina.
- Custos de Capital (CAPEX);
- Custos Operacionais (OPEX) para a lavra e para o beneficiamento;

Com a mina seqüenciada se torna possível a criação do fluxo de caixa da caixa e através desta obteve-se os indicadores do resultado financeiro. O resultado financeiro foi avaliado utilizando os indicadores mais comuns de análise de projetos de investimentos, Custo de Capital (CAPEX), Custo Operacional (OPEX), Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* e Taxa Interna de Retorno (TIR).

| Indicadores Financeiros            |      |             |
|------------------------------------|------|-------------|
| TIR                                | a.a. | 14,04%      |
| VPL                                | R\$  | 113 707 535 |
| Payback (após primeiro desembolso) | anos | 11          |
| CAPEX                              | R\$  | 205 085 210 |
| Custo de lavra (minério)           | R\$  | 3,80        |
| Custo de lavra (estéril)           | R\$  | 2,80        |

Tabela 3. Indicadores Financeiros do Caso Base

## 5 – ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES

Como os valores obtidos no caso base não foram satisfatórios, a empresa realizou alguns estudos para melhorar os indicadores financeiros atingidos e viabilizar o projeto, os mais discutidos foram:

- Por ser uma região de grande potencial, foram iniciadas novas prospecções geológicas em regiões próximas as já estudadas;
- Estudo de viabilidade de uma mina mista com mina subterrânea após o término da cava final na área 3;
- Alterar a recuperação alterando o processamento do minério;
- Aumentar o ROM da mina;
- Terceirizar parte do serviço de remoção do material desmontado, sendo assim poderia ter uma remoção maior de estéril nos primeiros anos sem aumento do CAPEX;
- Estudo de lavra seletiva.

Devido às altas irregularidades das zonas mineralizadas, optou-se por fazer um estudo de viabilidade econômica usando lavra seletiva. Após análise de alguns modelos de equipamentos, as seletividades escolhidas foram de 5 e 2,5 metros de espessura.

### 5.1 - Estudo para 5 metros de espessura

Seguindo a teoria da SMU, o processo inicia mudando o tamanho dos blocos no modelo de blocos que foi alterado de 12m x 12m x 10m para 6m x 6m x 5m.

Não há necessidade de alterar o desenho da cava nem a posição dos *pushbacks*, uma vez que é sabido que o que irá mudar é a seletividade, mas é necessário alterar 2 parâmetros e recuperação e a diluição para o sequenciamento dos blocos:

- Recuperação 95%
- Diluição 3%

Aplicando os novos valores para recuperação e diluição, obteve-se:

|                                 |      |            |
|---------------------------------|------|------------|
| Total de Rocha                  | ton. | 78 948 078 |
| Relação Estéril / Minério       |      | 4,018      |
| Total de Stringer               | ton. | 8 939 478  |
| Total de Disseminado            | ton. | 9 028 577  |
| Total de Stringer no Estéril    | ton. | 581        |
| Total de Disseminado no Estéril | ton. | 3 496 862  |
| Total de Estéril                | ton. | 57 482 409 |
| Total de Zinco Contido          | ton. | 291 695    |
| Total de Chumbo Contido         | ton. | 396 560    |
| Total de Cobre Contido          | ton. | 12 002     |
| Total de Prata Contida          | ton. | 1 788      |

Tabela 4. Resumo do LOM da mina para 5 metros de espessura

Foi então avaliado o fluxo de caixa, e obteve os seguintes valores:

| Indicadores Financeiros            |      |             |
|------------------------------------|------|-------------|
| TIR                                | a.a. | 15,15%      |
| VPL                                | R\$  | 136 593 675 |
| Payback (após primeiro desembolso) | anos | 10          |
| CAPEX                              | R\$  | 174 322 429 |
| Custo de lavra (minério)           | R\$  | 5,00        |
| Custo de lavra (estéril)           | R\$  | 3,30        |

Tabela 5. Indicadores Financeiros para 5 metros de espessura

## 5.2 - Estudo para 5 metros de espessura

Seguindo a teoria da SMU, o processo inicia mudando o tamanho dos blocos no modelo de blocos que foi alterado de 12m x 12m x 10m para 3m x 3m x 2,5m.

Não há necessidade de alterar o desenho da cava nem a posição dos *pushbacks*, uma vez que é sabido que o que irá mudar é a seletividade, mas é necessário alterar dois parâmetros e recuperação e a diluição para o seqüenciamento dos blocos:

- Recuperação 98%
- Diluição 2%

Aplicando os novos valores para recuperação e diluição, obteve-se:

|                                 |      |            |
|---------------------------------|------|------------|
| Total de Rocha                  | ton. | 78 948 078 |
| Relação Estéril / Minério       |      | 4,018      |
| Total de Stringer               | ton. | 8 939 705  |
| Total de Disseminado            | ton. | 10 392 353 |
| Total de Stringer no Estéril    | ton. | 354        |
| Total de Disseminado no Estéril | ton. | 2 133 086  |
| Total de Estéril                | ton. | 57 482 409 |
| Total de Zinco Contido          | ton. | 318 979    |
| Total de Chumbo Contido         | ton. | 423 844    |
| Total de Cobre Contido          | ton. | 14 730     |
| Total de Prata Contida          | ton. | 1 788      |

Tabela 6. Resumo do LOM da mina para 2,5 metros de espessura

Foi então avaliado o fluxo de caixa, e obteve os seguintes valores:

| Indicadores Financeiros            |      |             |
|------------------------------------|------|-------------|
| TIR                                | a.a. | 14,86%      |
| VPL                                | R\$  | 120 119 722 |
| Payback (após primeiro desembolso) | anos | 11          |
| CAPEX                              | R\$  | 166 791 700 |
| Custo de lavra (minério)           | R\$  | 6,50        |
| Custo de lavra (estéril)           | R\$  | 4,20        |

Tabela 7. Indicadores Financeiros para 2,5 metros de espessura

### 5.3 - Análise Comparativa

A análise comparativa será feita por meio de uma tabela comparativa.

| Indicadores Financeiros            |      |             |                |             |
|------------------------------------|------|-------------|----------------|-------------|
|                                    |      | Caso Base   | Lavra seletiva |             |
|                                    |      |             | 2,5 metros     | 5 metros    |
| TIR                                | a.a. | 14,04%      | 14,86%         | 15,15%      |
| VPL                                | R\$  | 113 707 535 | 120 119 722    | 136 593 675 |
| Payback (após primeiro desembolso) | anos | 11          | 11             | 10          |
| CAPEX                              | R\$  | 205 085 210 | 166 791 700    | 174 322 429 |
| Custo de lavra (minério)           | R\$  | 3,80        | 6,50           | 5,00        |
| Custo de lavra (estéril)           | R\$  | 2,80        | 4,20           | 3,30        |

Tabela 8. Comparação entre os casos estudados.

Analisando os valores dos indicadores financeiros gerados, a aplicação da lavra seletiva melhorou os indicadores financeiros e relação ao caso base. Também é possível concluir que o melhor para o caso em estudo é uma seletividade de 5 metros de espessura, como visto na tabela 8.

O provável motivo para o caso 2,5 metros não ser o mais atrativo é o alto custo de OPEX, esse custo não foi vantajoso em relação à redução de CAPEX e o maior quantidade elementos contidos no minério.

## 6 – CONCLUSÃO

O trabalho elaborado demonstrou que a opção por Lavra Seletiva pode trazer benefícios econômicos em relação aos métodos convencionais de lavra a céu-aberto. Por outro lado, a Lavra Seletiva pode implicar no aumento excessivo OPEX, como visto no caso para seletividade de 2,5 metros, o que acaba comprometendo a viabilidade econômica do projeto. Dessa forma, o trabalho elaborado comprovou que é necessário avaliar diversos cenários alternativos com níveis crescentes de seletividade para definir o ponto ideal de seletividade em cada projeto.

O estudo avaliado neste trabalho indicou que o nível de seletividade de 5 metros apresentou melhores resultados econômicos em relação aos demais cenários estudados (cenário sem seletividade e cenário com nível de seletividade de 2,5 metros).

Logo, chegou-se a conclusão de que um estudo de seletividade de lavra pode melhorar a atratividade de um projeto de mineração, mas que seu impacto na viabilidade econômica deve ser estudado com cuidado em relação às previsões específicas da recuperação de lavra, dos custos operacionais e dos investimentos associados a cada nível de seletividade examinado.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- WRIGHT, E. A. **Open Pit Mine Design Models**. Clausthal-Zellerfeld, Germany. 1990. 187 p.
- HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open Pit Mine Planning & Design**. 2<sup>th</sup> ed. Balkema, Rotterdam, 2006. Vol. 2
- JOURNAL, A. G.; KYRIAKIDIS, P. C. **Evaluation of Mineral Reserves: A Simulation Approach**. New York, United States of America. 2004. 227 p.
- PETERS, W. C. General Principles. Project and Mining Geology. In: HARTMAN, H. L. **SME Mining Engineering Handbook**. 2<sup>th</sup> ed. United States of America. 1992. Section 5. 988 p
- FOURIE, G. A. Basic Concepts. Surface Mining Development In: HARTMAN, H. L. **SME Mining Engineering Handbook**. 2<sup>th</sup> ed. United States of America. 1992. Section 13. 988 p
- SWITZER, P.; PARKER, H. M. The Problem of Ore Versus Waste Discrimination for Individual Blocks: The Lognormal Model. In: M. GUARASCIO; C.J. HUYBRECHTS; DAVID, M. **Advanced Geostatistics in the Mining Industry**. Dordrecht, Holland. 1975. 295 p.
- RENDU, J. M.; MATHIESON, G. Statistical and Geostatistical Methods. In: KENNEDY, B. A. **Surface Mining**. Baltimore, United States of America. 1990. 942 p.
- AYKAL, H.; YALÇIN, E. Improvement of coal quality fed to power by using selective excavator method at Seyitömer Coal Mines. In: HARDYGÓRA, M. **Mine Planning and Equipment Selection: 2004**. London, United Kingdom. 2004
- LEUANGTHONG, O.; LYSTER, S.; NEUFELF, C.T.; DEUTSCH, C.V., **Optimal Selection of Selective Mining Unit (SMU) Size**. In: International Conference on Mining Innovation (MININ) 2004. Santiago, Chile, 2004. 14 p.
- PANTUZA, G. Jr.; SOUZA, M. J. F. **Um Modelo Matemático para o Problema de Planejamento de Lavra Considerando o Método de Lavra Seletiva**. In: XVII SIMPEP. Bauru, Brasil. 2010. 14 p.
- SILVA, N. C. S. **Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para obtenção de resultados operacionais**. 2008. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 118 p.
- CHAVES, A. P., **Apostila de Gerenciamento de Projetos de Mineração**, São Paulo, Epusp, 2002. 128 p.