



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo  
Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas

## Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas

### PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA RECONCILIAÇÃO NAS DIVERSAS ETAPAS DO PROCESSO DE LAVRA

Nome: *Ricardo de França Rosendo*

NUSP: *5231101*

Orientador: *Professor Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi*

EPMI  
TF-2009  
R724p

Dezembro/ 2009

TF-2009  
R724p  
Lipso 1825360

M2009m

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005917

## ÍNDICE

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                               | 2  |
| 2. OBJETIVO.....                                                                  | 2  |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                                     | 2  |
| 3.1 Amostragem.....                                                               | 2  |
| 3.2 Amostragem de Longo Prazo.....                                                | 2  |
| 3.4 Planejamento de Longo Prazo .....                                             | 3  |
| 3.5 Amostragem de Curto Prazo .....                                               | 3  |
| 3.6 Planejamento de Curto Prazo.....                                              | 3  |
| 3.7 Mine Call Factor .....                                                        | 3  |
| 3.8 Recuperação na Lavra.....                                                     | 3  |
| 3.9 Diluição na Lavra.....                                                        | 4  |
| 3.10 Gerenciamento de Dados .....                                                 | 4  |
| 3.9 Gestão da informação (ISO27001) .....                                         | 4  |
| 3.11 Reconciliação na Lavra.....                                                  | 5  |
| 4. METODOLOGIA DA GESTÃO DA RECONCILIAÇÃO.....                                    | 5  |
| 4.1 Amostragem de Longo Prazo.....                                                | 6  |
| 4.2 Modelo Geológico e Planejamento de Longo Prazo.....                           | 6  |
| 4.3 Amostragem de Curto Prazo.....                                                | 7  |
| 4.4 Modelo Geológico e Planejamento de Curto Prazo .....                          | 8  |
| 4.5 Modelo de Longo Prazo x Modelo de Curto Prazo (Mine Model) .....              | 9  |
| 4.6 Ineficiência Operacional .....                                                | 10 |
| 4.7 Amostragem na Alimentação da Usina.....                                       | 10 |
| 4.8 Modelo de Longo Prazo x Alimentação da Usina (Mine Call Factor).....          | 11 |
| 5. ANÁLISE CRÍTICA.....                                                           | 11 |
| 5.1 Problemas não enxergados pelos fatores de reconciliação MCF e Mine Model..... | 11 |
| 5.2 Desenvolvimento de Ferramentas para Melhora da Reconciliação .....            | 12 |
| 5.3 Exemplo da Utilização das Ferramentas para Melhoria da Reconciliação .....    | 13 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                                                | 13 |
| 7. REFERÊNCIAS .....                                                              | 14 |

# PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA RECONCILIAÇÃO NAS DIVERSAS ETAPAS DO PROCESSO DE LAVRA

RICARDO F. ROSENDO

E-mail: [ricardo\\_rosendo826@hotmail.com](mailto:ricardo_rosendo826@hotmail.com)

## RESUMO

Empreendimentos mineiros são atividades de grande imprevisibilidade e alto risco, que demandam amplas somas de capital para a sua realização. Tendo em vista este panorama torna-se de grande importância a realização de um bom planejamento e operação da lavra assim como as atividades intrínsecas ao mesmo (campanhas de amostragem de longo e curto prazo, criação de modelos geológicos, conhecimento dos teores das bancadas conforme o avanço da lavra, conhecimento do material que está sendo alimentado à usina, etc.), e também do gerenciamento e armazenamento seguros e auditáveis das informações geradas antes, durante e após a execução do que foi planejado. Este trabalho foi elaborado a partir de um estágio de férias realizado na Maracá Mineração, empresa do Grupo Yamana, localizada em Alto Horizonte, GO.

PALAVRAS CHAVE: gerenciamento, planejamento, lavra

## ABSTRACT

Mining assets are unpredictable and high risk activities that demand large sums of capital to its realization. Given this background it is very important to conduct a proper planning and a proper exploitation as well as the activities related to both (Sampling campaigns to the long and the short term planning, the creation of geological models, knowledge of the grades in the benches of the mine, knowledge of the material being fed to the plant, etc.). And also the management and secure and auditable storage of the data generated before during and after the execution of what was planned. This case study was developed from a summer internship held in Maracá Mineração, company from Yamana, located in Alto Horizonte, GO.

KEY-WORDS: management, planning, exploitation

## **1. INTRODUÇÃO**

No contexto atual os altos custos são uma limitante para a atividade mineira, em função disto deve-se ter um estreito controle de todos os dados de produção, minimizando as incertezas geológicas e visando alta qualidade e homogeneidade do produto final. Observa-se então a importância de extinguir-se a diferença entre o planejado e o executado, aperfeiçoando a amostragem compreendendo a complexidade da jazida.

Este trabalho baseia-se em observações e conceitos aprendidos em um estágio de férias realizado na Maracá Mineração durante o mês de julho de 2009, pesquisa acadêmica realizada em laboratórios da Escola Politécnica da USP e levantamento bibliográfico. A idéia do mesmo é a elaboração de um modelo de gestão do planejamento, reconciliação e de informações envolvendo produção, teores e outras características do minério in situ, R.O.M. e do concentrado da usina.

## **2. OBJETIVO**

Em busca de uma melhor previsibilidade do concentrado da usina e de uma maior facilidade em efetivar o planejamento de curto e longo prazo, o trabalho proposto desenvolverá metodologias destinadas ao maior controle do material e seu manuseio na mina através da utilização do conceito de reconciliação. As atividades propostas envolverão gestão das amostragens de longo e curto prazo e seus modelos geológicos, implementação de amostragens do ROM, proposição de sugestões para melhorias em algumas operações da mina, assim como suas operações auxiliares e utilização de índices de reconciliação para uma melhora na confiabilidade do plano de lavra.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Amostragem**

De acordo com Gy a amostragem era uma arte que se tornou a ciência da representação de um grupo de interesse por um lote do mesmo. Deve lembrar-se de que os resultados de uma amostragem são estimativas, portanto, podem apresentar alguns erros.

Uma amostra é dita representativa quando existe um equilíbrio entre sua acurácia e reprodutibilidade. Entende-se por acurácia a minimização do erro sistemático da amostragem, e por reprodutibilidade a dispersão dos resultados.

Segundo a teoria da amostragem de Gy (1982), há erros de amostragem que não podem ser eliminados, sendo eles: erro fundamental, erro de segregação, erro de agrupamento e erro de integração. Assim sendo, como já mencionado acima, sempre existirá um erro associado ao resultado da qualidade de um lote.

Portanto, observa-se que com tantos erros é necessário se tomar muito cuidado nos processos de amostragem de campo, para que eles sejam minimizados ao máximo.

### **3.2 Amostragem de Longo Prazo**

Após constatado por campanhas de processos geofísicos que há alguma anomalia geológica de interesse, inicia-se a amostragem de longo prazo, que utiliza-se de métodos de sondagem com grandes profundidades e uma malha relativamente bem espaçada, este processo continua sendo realizado em campanhas de amostragens concomitantes com as operações de lavra. A partir desta amostragem monta-se o modelo geológico.

### 3.3 Modelo Geológico

O modelo geológico é uma estimativa do corpo de minério que foi inferido a partir do estudo da amostragem de longo prazo da jazida, como dito ele é uma estimativa, portanto só se conhecerá realmente o que há na jazida quando a lavra da mina for finalizada. Este modelo é utilizado na elaboração do planejamento de longo prazo.

### 3.4 Planejamento de Longo Prazo

O planejamento de longo prazo tem o objetivo de elaborar uma estratégia de lavra e operação que vise a maximização do retorno financeiro e maximizar a vida útil da mina.

Segundo Carrasco, o planejamento de longo prazo é geralmente o primeiro passo a ser tomado para tornar a lavra operacional, pois projeta as operações de lavra para um determinado tempo e o seqüenciamento de retirada de minério e estéril da cava final, existindo 3 fases que definem este planejamento:

1. Desenho do limite da cava
2. Delimitação das fases de lavra dentro do limite da cava
3. Seleção de equipamentos e determinação de seqüência de exploração por bancada e por fase.

### 3.5 Amostragem de Curto Prazo

As campanhas de amostragem de curto prazo possuem o objetivo de reconhecer realmente o que há nas bancadas da mina que está em processo de lavra, ela é geralmente feita a partir da coleta do pó da perfuratriz, com uma malha mais fechada que a do longo prazo, conferindo um maior grau de detalhe ao que fora analisado anteriormente.

### 3.6 Planejamento de Curto Prazo

No planejamento de curto prazo o universo de trabalho é muito mais detalhado, trabalha-se com frentes de lavras em bancadas definidas, sempre respeitando o que se foi planejado no longo prazo, fazendo com que os objetivos traçados sejam divididos e cumpridos em bases de tempo mensal, semanal e diária. Os principais objetivos desta etapa são o controle de qualidade do material e a garantia da produtividade operacional.

### 3.7 Mine Call Factor

O MCA é o índice que relaciona a quantidade de metal prevista na jazida pelos estudos de longo prazo e a quantidade que realmente está entrando na usina de beneficiamento. Este índice é muito usado no processo de reconciliação, redimensionando a capacidade produtiva da jazida de acordo com o que realmente está sendo encontrado.

### 3.8 Recuperação na Lavra

A Recuperação na Lavra compreende um índice responsável por medir o quanto do metal existente na área que está sendo lavrada realmente está entrando na usina, ou seja, a relação entre o medido pelo curto prazo e a entrada da usina. Este medidor pode ser usado para uma avaliação do desperdício que pode estar ocorrendo durante o processo de lavra (diluição, e perdas por ser difícil rastrear certos teores nos estoques).

### 3.9 Diluição na Lavra

Primeiramente, deve-se introduzir o conceito de material diluente, que é todo material que não é o foco da lavra, ou seja, baixo teor e estéril.

A Diluição é a relação entre a massa de material diluente lavrada e a massa de minério, ou seja,

$$D = \frac{\text{massa de diluente}}{\text{massa de minério}} \quad (3.9)$$

A Diluição pode ser usada para medir a seletividade da lavra e para ajustarmos quanto material diluente poderá ser absorvido pela usina de modo que o teor médio permaneça satisfatório.

### 3.10 Gerenciamento de Dados

O Gerenciamento dos dados providos das amostragens de longo e curto prazo é de suma importância para as atividades de planejamento e auditoria das mesmas, sem estes dados não é possível a execução de um projeto auditável de mineração.

### 3.9 Gestão da informação (ISO27001)

ISO27001 trata-se de um padrão para sistemas de gerência da segurança da informação (ISMS - *Information Security Management System*) cuja publicação ocorreu em outubro de 2005 pelo International Organization for Standardization e pelo International Electrotechnical Commission. O nome completo da norma é *ISO/IEC 27001:2005 - Tecnologia da informação - técnicas de segurança - sistemas de gerência da segurança da informação*

O objetivo da norma é ser usado em conjunto com *ISO/IEC 17799*, o código de práticas para gerência da segurança da informação, o qual lista objetivos do controle de segurança e recomenda um conjunto de especificações de controles de segurança. Organizações que implementam um ISMS de acordo com as melhores práticas da ISO 17799 estão simultaneamente em acordo com os requisitos da ISO 27001, mas uma certificação é totalmente opcional.

Este padrão é o primeiro da família de segurança da informação relacionado aos padrões ISO que espera-se sejam agrupados à série 27000. Outros foram incluídos antecipadamente:

- ISO 27000 - Vocabulário de Gestão da Segurança da Informação (sem data de publicação);
- ISO 27001 - Esta norma foi publicada em Outubro de 2005 e substituiu a norma BS 7799-2 para certificação de sistema de gestão de segurança da informação;
- ISO 27002 - Esta norma substituiu o ISO 17799:2005 (Código de Boas Práticas);
- ISO 27003 - Esta norma abordará a gestão de risco, contendo recomendações para a definição e implementação de um sistema de gestão de segurança da informação.
- ISO 27004 - Esta norma incide sobre os mecanismos de mediação e de relatório de um sistema de gestão de segurança da informação.
- ISO 27005 - Esta norma é constituída por indicações para implementação, monitoramento e melhoria contínua do sistema de controles.
- ISO 27006 - Esta norma é referente à recuperação e continuidade de negócio. Este documento tem o título provisório de "Guidelines for information and communications technology disaster recovery services", não estando calendarizado a sua edição.

### 3.11 Reconciliação na Lavra

O termo reconciliação na indústria mineral pode ser explicado basicamente como uma comparação de uma reserva mineral inferida com a medida de sua produção. O principal objetivo da reconciliação é assegurar que a reserva lavrável restante após uma atualização da topografia contenha um razoável nível de confiança para a elaboração de planejamento de longo prazo, seqüenciamento, garantia da produção, projeto de expansão da mina, modificações da planta, etc.

Entretanto de acordo com Crawford (2004) um projeto de reconciliação não apenas compara um modelo geológico com os resultados da lavra. Na prática, cada etapa da operação deve ser examinada seqüencialmente desde: a) modelo geológico para mina; b) mina para usina; c) usina para concentrado final; d) pilhas de estocagem. A dificuldade surge do grande número de chances que uma previsão de um recurso pode sair errada.

Para os aspectos levados em conta neste trabalho, levar-se-á em conta apenas as seguintes comparações para a reconciliação: a) modelo geológico de longo prazo com alimentação da usina; b) modelo geológico de curto prazo com alimentação da usina; c) modelo geológico de longo prazo com o de curto prazo; Estes aspectos estão mais facilmente esquematizados na figura abaixo:

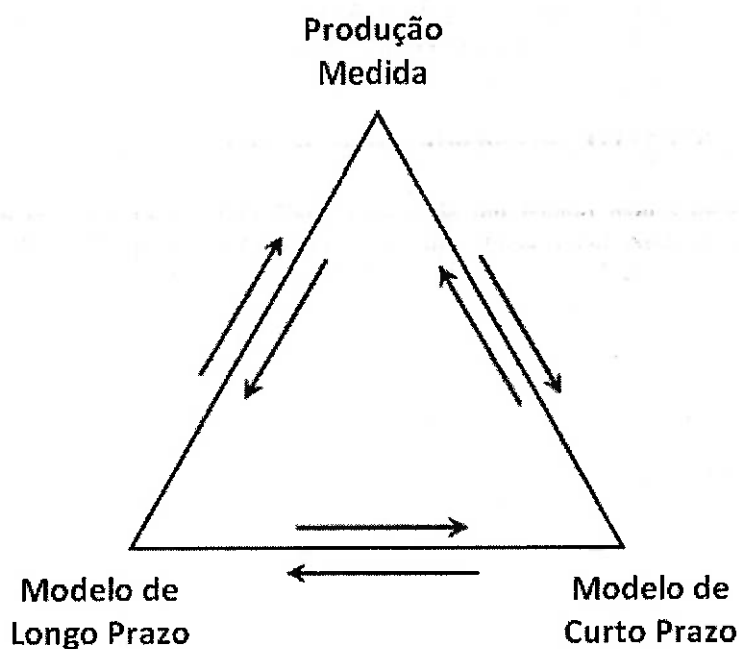


Figura 1: Ciclo de Reconciliação de lavra

## 4. METODOLOGIA DA GESTÃO DA RECONCILIAÇÃO

Antes de se iniciar o planejamento operacional de uma mina, deve ser ter em mente um conceito muito importante: qualquer atividade mineira deve ser vista como um negócio ou empreendimento de alto risco, que possui ações na bolsa, investidores, clientes e é passível de incertezas e até de erros em várias de suas etapas. Portanto é de extrema importância que todos os processos realizados, incluindo amostragens, análises, estudos, planos de lavra esteja muito bem documentado e auditável, pois estas são as garantias que os investidores possuem para investirem em tal tipo de empreendimento.



Tendo em vista que a mineração é um negócio, possuindo clientes, a atenção aos mesmos e às especificações de produto requeridas deve ser de extrema importância para o empreendimento, fazendo assim com que se pense na cadeia produtiva de forma contrária: 1) Especificações do produto demandado pelo cliente; 2) O que a usina deve processar para atender às especificações; O que a operação deve alimentar à usina; 3) O que será planejado para ser produzido na operação; Todas estas etapas, e equipes da mina devem trabalhar integrados e tendo a consciência de que estão trabalhando para atender às especificações do cliente, e que devem colaborar com a etapa seguinte para que estas especificações sejam alcançadas.

A metodologia de gestão proposta por este trabalho seguirá o modelo padrão do processo de planejamento de lavra, desde as sondagens para amostragem de longo prazo, passando pelos horizontes de planejamento de longo e curto prazo até o minério ROM alimentado à Usina. No entanto, haverá foco específico nas dificuldades existentes identificadas em diversas etapas do processo, conforme observado na prática durante o estágio de férias em 2009 na Maracá Mineração, em Alto Horizonte (GO). A metodologia proposta incorpora as soluções recomendadas para as dificuldades identificadas no processo de planejamento de lavra, além de um tutorial prático descrevendo a aplicação dos conceitos de gestão no planejamento de lavra e seu impacto nos resultados da reconciliação de mina.

#### **4.1 Amostragem de Longo Prazo**

O primeiro passo a ser tomado na metodologia de gestão do Planejamento em questão é a amostragem de longo prazo. Esta deve ser muito bem documentada e estudada, pois será a base para a construção do modelo geológico, subseqüentes estudos do método de lavra adotado, e tem grande impacto das ações da empresa na bolsa. Um exemplo do impacto que o modelo geológico tem sobre as ações da companhia é o caso do grupo canadense Bre-X Minerals Ltd, que superestimou uma jazida de ouro na indonésia falsificando as amostragens de campo, este foi um dos maiores escândalos na história da mineração, e levou a companhia ao seu fim em 1997.

Há fatores que dificultam o processo de amostragem de longo prazo, o primeiro e mais importante deles é o de que toda amostragem apresenta um erro, então deve-se utilizar uma equipe muito bem treinada para que este erro humano seja minimizado ao máximo. Outro fator agravante é o custo de amostragens por sondagem, que é muito alto, portanto deve-se definir muito bem a malha de amostragem para que não ocorram gastos desnecessários

No Projeto da maracá mineração a malha utilizada é de 30x10. A malha nem sempre é quadrada devido à forma do corpo mineralizado.

#### **4.2 Modelo Geológico e Planejamento de Longo Prazo**

A modelagem Geológica é feita com base em análises geoestatísticas do maciço, utilizando métodos matemáticos como: Krigagem, Triangulação com interpolação linear, Inverso das distâncias, Curvatura mínima. Esta modelagem deve ser muito bem estudada, e pode ser obtida com o apoio de softwares de planejamento de lavra, pois a maioria deles possui ferramentas Geoestatísticas, o que torna fácil a modelagem em 3D do corpo de minério.

Após a obtenção do modelo do corpo de minério segue-se para a etapa do desenho de cava, que pode ser obtido também com programas de planejamento de lavra, através de estudos de viabilidade que proporcionam o desenho da cava ótima. A partir destes dados e com a frota de equipamentos de mina bem definida segue-se o seqüenciamento estratégico da lavra, que deve atender especificações quantitativas de produção e teor, especificados pelos clientes da mina.

As dificuldades do planejamento de longo prazo estão no fato de ele ser um modelo numérico, baseado em uma amostragem relativamente não muito bem detalhada do corpo de minério, e ainda conta com os erros de imprecisão da mesma, portanto deve ser revisado e refeito em períodos definidos de tempo conforme se avança a lavra. Assim, temos que o planejamento de longo prazo não é, de forma alguma, operacional.

### 4.3 Amostragem de Curto Prazo

A amostragem de curto prazo, como já mencionado no presente trabalho apresenta uma malha muito menos espaçada que a de longo prazo, o que a torna muito mais detalhada. A malha de furação nas campanhas de soldagem da Maracá mineração é de 3x9. Estas campanhas devem geralmente estar aproximadamente três meses adiantadas em relação à operação da mina.

Além de erros inerentes ao processo, há outros fatores que dificultam muito as campanhas de amostragem de curto prazo, justamente por elas ocorrerem freqüentemente e em concomitância com a operação de lavra: impedimento de acessos, falta de perfuratrizes e processo manual.

Devido ao processo de amostragem ser manual (o material é recolhido com uma pá), a equipe que trabalha neste processo deve ser muito bem treinada e capacitada para minimização do erro sistemático de manuseio humano.

Os impedimentos de acesso podem ocorrer quando ocorre uma detonação logo acima da bancada onde será feita a amostragem, ou quando o acesso a esta bancada fica impedido devido também a uma detonação. Para que este problema não ocorra deve-se haver um alinhamento muito grande entre a geologia e a operação, para que sejam combinados e programados os locais onde serão feitas as amostragens sem que se atrapalhe a produção da mina e vice versa.

A falta de perfuratrizes também se apresenta como um grande problema para a amostragem de curto prazo, geralmente as máquinas que são utilizadas para a realização de furos de produção (desmorte) são as mesmas utilizadas para este processo de amostragem, o que gera conflitos entre as equipes de produção e as de geologia. Para sanar este problema também deve haver um bom alinhamento das duas equipes, estudou-se no caso da MMIC os tempos disponíveis das perfuratrizes e as metas dos furos de amostragem e dos de produção, mostrando que em um mês há horas disponíveis de maquinário suficiente para atender às metas da campanha de amostragem e de furos de produção e ainda sobra um tempo extra para ser dividido entre as duas tarefas, este estudo é mostrado no gráfico de barras a seguir:

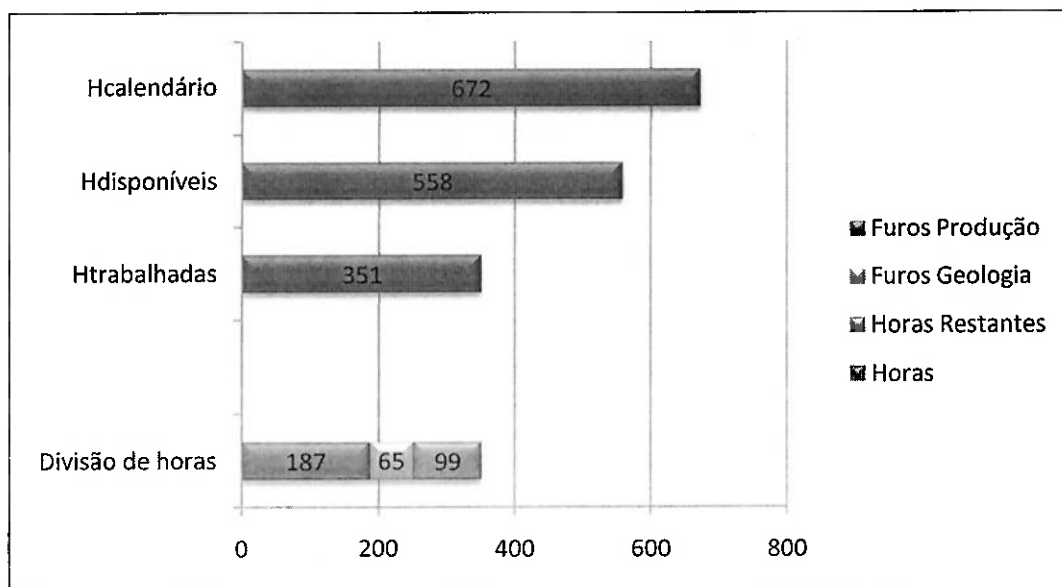


Figura 2 - Gráfico da Quantidade de horas de trabalho das perfuratrizes e os tipos de trabalho

No gráfico:

- $H_{\text{calendário}}$  - Horas do calendário (no caso, um mês)
- $H_{\text{disponíveis}}$  - Horas disponíveis para trabalho da perfuratriz ( $H_{\text{calendário}} - H_{\text{manutenção}}$ )
- $H_{\text{trabalhadas}}$  - São as horas que a perfuratriz está disponível descontando seus atrasos operacionais (s exemplificar, deslocamento entre as frentes)

- Divisão de horas – é o número de horas que a perfuratriz foi utilizada pela geologia ou para a produção, e o tempo que ela ficou ociosa.

Uma outra solução que também pode ser adotada é a da utilização dos furos de produção para amostragem de curto prazo, o que fará com que haja muito mais tempo útil de perfuratrizes para as duas atividades.

Alguns cuidados devem ser tomados com estas amostragens utilizando os furos de produção, pois eles não são acompanhados pela equipe da geologia, que deve supervisionar esta furação se for realizar o processo de amostragem nela. Outro problema é a diferença entre a malha de produção e a de geologia, sendo que a primeira é mais fechada que a segunda, o que deve ser considerado na hora de adotar esta solução.

#### 4.4 Modelo Geológico e Planejamento de Curto Prazo

O Modelo Geológico de curto prazo representa uma grande importância para o funcionamento da mina, pois ele é uma versão mais detalhada do de longo prazo, conferindo um menor grau de incerteza e um maior detalhamento sobre o minério em cada bancada. O planejamento efetivamente operacional pode ser realizado apenas com base neste modelo, já que o de longo prazo não oferece detalhamento suficiente para este fim.

Um dos problemas deste modelo é que muitas vezes ele é elaborado com base na amostragem do pó da perfuratriz, o que diminui sua precisão, pois considera o teor médio de um furo de perfuratriz como sendo um teor pontual. Assim, temos que os pontos de contato minério/estéril não são muito claros.

Partindo-se do modelo geológico mencionado e do plano de longo prazo inicia-se o planejamento de curto prazo, que é a base da operação da mina, este planejamento é passado para os supervisores e encarregados para que eles possam executar o seqüenciamento da lavra na mina, as frentes onde cada equipamento será alocado, onde será necessária a utilização dos equipamentos de apoio, e etc.

O plano de curto prazo deve ser muito bem entendido e acordado entre os chefes de equipe, pois assim como na amostragem de curto prazo ocorrem problemas de obstruções de bancada conforme se dão os desmontes, o que pode atrapalhar o andamento da produção e, por conseguinte o não cumprimento do planejado.

As figuras abaixo exemplificam um planejamento de curto prazo:



Figura 3- Planejamento de curto prazo (pit final da cava para o mês de Fevereiro); Fonte: Equipe de Planejamento da MMIC

Tabela 1 - Avanço da lavra por bancos (mês de fevereiro); Fonte: Equipe de Planejamento da MMIC

| BENCH<br>TOE | INSITU<br>ORE<br>(BCMS) | INSITU<br>ORE<br>(TONNES) | WASTE<br>TOTAL<br>(TONNES) | ROM<br>S/R | DILUTED<br>CPCU | GRADES<br>CPAU | CNSR8   | CUREC  | AUREC  | PY%   | DENS   |
|--------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|-----------------|----------------|---------|--------|--------|-------|--------|
| 330          | 36,500                  | 95,886                    | 236,590                    | 2.47       | 0.6005          | 0.6418         | 24.7035 | 0.7762 | 0.5751 | 1.349 | 2.6486 |
| 320          | 82,800                  | 222,925                   | 208,664                    | 0.94       | 0.3849          | 0.3434         | 13.4651 | 0.8854 | 0.6436 | 2.839 | 2.6943 |
| 310          | 112,920                 | 304,884                   | 159,565                    | 0.52       | 0.3854          | 0.3565         | 13.714  | 0.8351 | 0.6271 | 1.728 | 2.7    |
| 300          | 102,750                 | 277,425                   | 269,960                    | 0.97       | 0.4193          | 0.5434         | 17.9659 | 0.7493 | 0.2508 | 1.477 | 2.7    |
| 290          | 126,615                 | 341,860                   | 343,753                    | 1.01       | 0.4698          | 0.3491         | 15.9051 | 0.8966 | 0.5103 | 1.941 | 2.7    |
| 280          | 76,655                  | 206,968                   | 191,456                    | 0.93       | 0.4448          | 0.5079         | 18.0345 | 0.906  | 0.6673 | 2.18  | 2.7    |
| 270          | 2,470                   | 6,669                     | 0                          | 0          | 0.7318          | 0.8289         | 31.6391 | 0.9104 | 0.7115 | 2.522 | 2.7    |
| TOTAL        | 540,710                 | 1,456,618                 | 1,411,154                  | 0.97       | 0.436           | 0.399          | 16.419  | 0.847  | 0.533  | 1.943 | 2.696  |

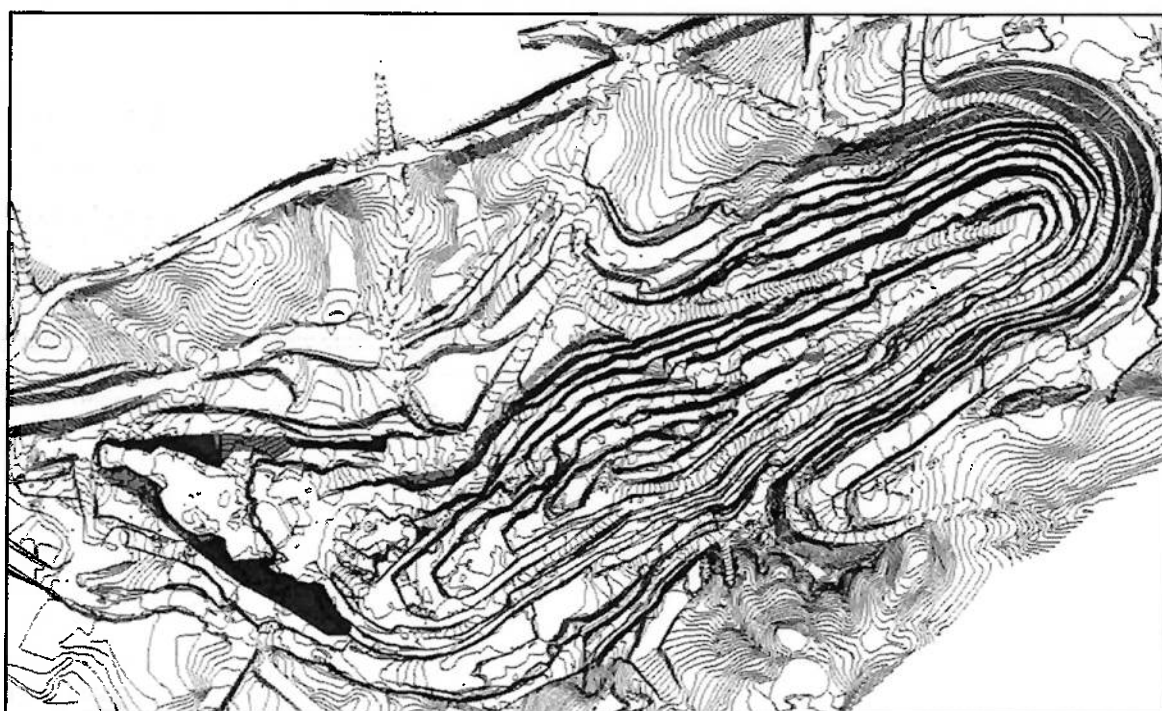


Figura 4 - Avanço da bancada 320, mencionada na Tabela 1

#### 4.5 Modelo de Longo Prazo x Modelo de Curto Prazo (Mine Model)

Com os dois modelos geológicos obtidos até esta etapa, o de curto e o de longo prazo já é possível fazer análise de um dos índices para a garantia da reconciliação na mina, o mine model, ele pode ser obtido da seguinte forma:

(4.5)

Mine Model – Índice Mine Model de reconciliação

Modelo de Curto Prazo – Quantidade do metal de interesse estimada no modelo de curto prazo

Modelo de Longo Prazo – Quantidade do metal de interesse estimada no modelo de longo prazo

Este índice compara o que foi estimado de produção do metal no modelo de longo prazo com o que foi estimado no modelo de curto prazo, com ele se obtém uma idéia da confiabilidade do modelo de longo prazo em relação ao de curto.

Se  $MM > 1$  significa que o modelo de longo prazo foi subestimado, ou seja, há mais metal na mina do que havia se pensado anteriormente, o que é um panorama bom para a empresa.

Se  $MM < 1$  significa que o modelo de longo prazo foi superestimado, ou seja, há menos metal a ser produzido do que se pensava antes, o que é um panorama ruim para a empresa.

Este índice é de extrema importância na gestão da reconciliação, pois ele foca uma das etapas que pode ser o gargalo entre o projetado e o produzido levando o gerente a estudar o problema que está causando esta discrepância para poder com maior facilidade tomar uma decisão para saná-lo.

O MM tem muita importância para a projeção das ações da companhia na bolsa, pois quanto mais próximo de um ele é, maior a confiabilidade do modelo de longo prazo, o que aumenta a confiança dos investidores, e conseqüentemente os investimentos na empresa.

#### **4.6 Ineficiência Operacional**

Ainda que as etapas do planejamento sejam seguidas a risca podem ocorrer algumas perdas operacionais decorrentes da operação da lavra, e devem ser levadas em conta no processo de reconciliação. Uma dessas perdas deve-se à diluição da lavra, que está relacionada à seletividade da mesma. Há perdas operacionais também devido à blendagem e estocagem de material. Geralmente o material pode perder suas propriedades quando é estocado ao ar livre, pois pode sofrer alterações devido ao intemperismo do meio.

Estes problemas dificilmente podem ser evitados, porém é essencial que sejam analisados e estudados como forma de minimizar as discrepâncias entre o planejamento da produção e os resultados do concentrado da usina.

#### **4.7 Amostragem na Alimentação da Usina**

Nunca há 100% de certeza da composição do material que está sendo alimentados à usina, devido aos já mencionados problemas dos modelos geológicos, algumas vezes começam a aparecer problemas em suas operações, variações inesperadas no teor do concentrado. Estes problemas são devidos ao desconhecimento do material que alimenta a usina.

Uma das soluções propostas a este problema é a criação de um sistema de amostragem do ROM que alimentará a usina, este sistema poderia mostrar as flutuações de teores do metal de interesse, teores de materiais que atrapalham em processos na usina, a exemplificar: na MMIC teores de pirita acima de 2% atrapalhavam na recuperação de cobre e ouro na flotação, e litologias mais duras que o previsto causavam problemas no processo de moagem.

A MMIC não possuía amostragem do ROM, o mesmo era calculado a partir do concentrado e do rejeito gerados pela usina, o que trazia graves problemas de previsibilidade do material que alimentava a usina e agregava ineficiência a índices de reconciliação.

Observa-se então que a amostragem da alimentação da usina pode ser muito útil pois quando houverem variações no material que está sendo alimentado podem ser tomadas medidas para preparar a usina contra os problemas que ela pode sofrer, e ainda ela pode ser utilizada para a obtenção do principal índice de reconciliação que será comentado a seguir.

#### 4.8 Modelo de Longo Prazo x Alimentação da Usina (Mine Call Factor)

O índice mais importante na análise da reconciliação é o Mine Call Factor, ele é a relação entre o modelo geológico de longo prazo e o que foi alimentado à usina, ele pode ser calculado da seguinte forma:

$$MCF = \frac{\text{Alimentação Usina}}{\text{Modelo de Longo Prazo}} \quad (4.8)$$

Onde:

MCF –Índice Mine Call Factor de reconciliação

Alimentação Usina – quantidade do metal de interesse que foi lavrado e está sendo alimentado à usina

Modelo de Longo Prazo – Quantidade do metal de interesse estimada no modelo de longo prazo

Este índice compara a quantidade do metal de interesse que está sendo alimentado à usina com a quantidade do metal que havia sido estimada no planejamento de longo prazo. Pode-se observar que este é um índice global de reconciliação, ou seja, ele traduz a idéia do que foi modelado para a jazida, e o que ela realmente possui do metal.

Se  $MM > 1$  significa que o modelo de longo prazo foi subestimado, ou seja, há mais metal na mina do que havia se pensado anteriormente.

Se  $MM < 1$  significa que o modelo de longo prazo foi superestimado, ou seja, há menos metal a ser produzido do que se pensava antes.

Portanto o MCF é um índice de extrema importância para a gestão do planejamento, para tomadas de decisão e para análise da confiabilidade do modelo de longo prazo.

No caso da MMIC havia uma dificuldade para o cálculo do MCF, pois não havia sistema de amostragem na alimentação da usina, por isso calculava-se o índice a partir do que era recuperado na usina. Na tabela abaixo observa-se o cálculo do MCF feito desta maneira.

Tabela 2 - Exemplo de uma tabela de controle diário constando o cálculo do MCF

| MCF MINERAÇÃO MARACÁ - CONTROLE DIÁRIO - 22/01/2009 |           |        |         |               |        |                  |          |
|-----------------------------------------------------|-----------|--------|---------|---------------|--------|------------------|----------|
| Materias                                            | Massa     | Teores |         | Metal Contido |        | Mine Call Factor |          |
|                                                     |           | Cu. %  | Au. g/t | Cobre         | Ouro   | MCF Copper       | MCF Gold |
| Longo Prazo                                         | 1.072.566 | 0,470  | 0,392   | 5.046,03      | 420,40 | 79,19%           | 83,36%   |
| Curto Prazo Modelo                                  | 998.175   | 0,427  | 0,377   | 4.261,44      | 376,33 |                  |          |
| Curto Prazo Rec.                                    | 967.289   | 0,413  | 0,362   | 3.996,11      | 350,47 |                  |          |
| Varição Estoque                                     | -71.858   | 0,420  | 0,380   | -301,80       | -27,31 |                  |          |
| Varição Pilha Pulmão                                | 15.399    | 0,421  | 0,369   | 64,78         | 5,69   |                  |          |
| Real. Usina (Britag.)                               | 1.039.147 | 0,413  | 0,363   | 4.297,91      | 377,77 |                  |          |
| Pilha Pulmão Inicial                                | 43.979    | 0,374  | 0,323   | 164,46        | 14,19  |                  |          |

## 5. ANÁLISE CRÍTICA

### 5.1 Problemas não enxergados pelos fatores de reconciliação MCF e Mine Model

Apesar de serem índices de extrema importância na reconciliação da lavra, tanto o Mine Call Factor quanto o Mine Model são fatores muito gerais que ignoram alguns parâmetros específicos e essenciais na gestão da reconciliação. Com o MCF enxerga-se se há ou não uma disparidade entre o Modelo Geológico e o metal produzido, porém, não se sabe em que etapa está o problema que a causou: entre o modelo de

longo prazo e o de curto prazo, entre o modelo de curto prazo e o planejamento de curto prazo, entre o planejamento de curto prazo e a operação, ou entre a operação e a alimentação da usina, enfim, são necessários mais índices para saber onde deve ser o foco para sanar a lacuna existente entre o modelo de longo prazo e o produzido.

## 5.2 Desenvolvimento de Ferramentas para Melhora da Reconciliação

Esta seção trata da proposição da utilização de novas ferramentas que vêm auxiliar na busca de ineficiências dentro dos processos de planejamento e operação de lavra. Índices mais específicos na gestão da reconciliação de lavra são capazes de realizar a tarefa mencionada, tendo uma idéia menos geral e mais focada de onde se deve trabalhar para a obtenção de melhorias.

O Mine Call Factor será o índice global, ele enxerga que há uma diferença entre o modelo de Longo prazo proposto e o que está sendo produzido, porém sem transmitir a idéia de onde esta diferença se encontra. Já o Mine Model é um índice específico que mostra se o problema está entre o modelo de longo e o de curto prazo.

O primeiro índice proposto a ser utilizado também é a recuperação na lavra e trata da relação entre o modelo de curto prazo e a alimentação da usina, ele pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Recuperação na Lavra} = \frac{\text{Alimentação da Usina}}{\text{Modelo de Curto Prazo}} \quad (5.2)$$

Onde:

Recuperação na lavra – relação modelo de curto prazo e ao alimentado à usina

Alimentação Usina – quantidade do metal de interesse que foi lavrado e está sendo alimentado à usina

Modelo de Curto Prazo – Quantidade do metal de interesse estimada no modelo de curto prazo

Nota-se que neste índice estão contidas as imperfeições do modelo de curto prazo e as imprecisões inerentes ao planejamento e à operação da lavra. Exemplificando-se melhor: pode-se observar neste fator erros inerentes às amostragens de curto prazo, como o problema de se estimar um furo de sondagem com o teor médio da amostragem provinda dele; problemas no modelo de blocos que podem estimar alguns blocos que são estéril como sendo minério, ou vice versa; blocos de minério que não podem ser lavrados segundo o método adotado pelo planejamento da lavra; diluição entre minério e estéril, e perdas no transporte. Todos estes fatores ainda estão dentro da Recuperação na Lavra, portanto é importante utilizá-los na gestão da mesma.

O segundo índice proposto a ser utilizado é a diluição na lavra, que foi explicado anteriormente, pode ser calculado pela fórmula (3.9) e traduz a idéia do quanto de estéril está se diluindo ao minério e sendo alimentado à usina, além de ser um índice que ajuda a rastrear onde pode estar um suposto problema dentro da recuperação de lavra.

A figura a seguir mostra de uma maneira didática como estes índices estão relacionados nas etapas do processo de reconciliação:

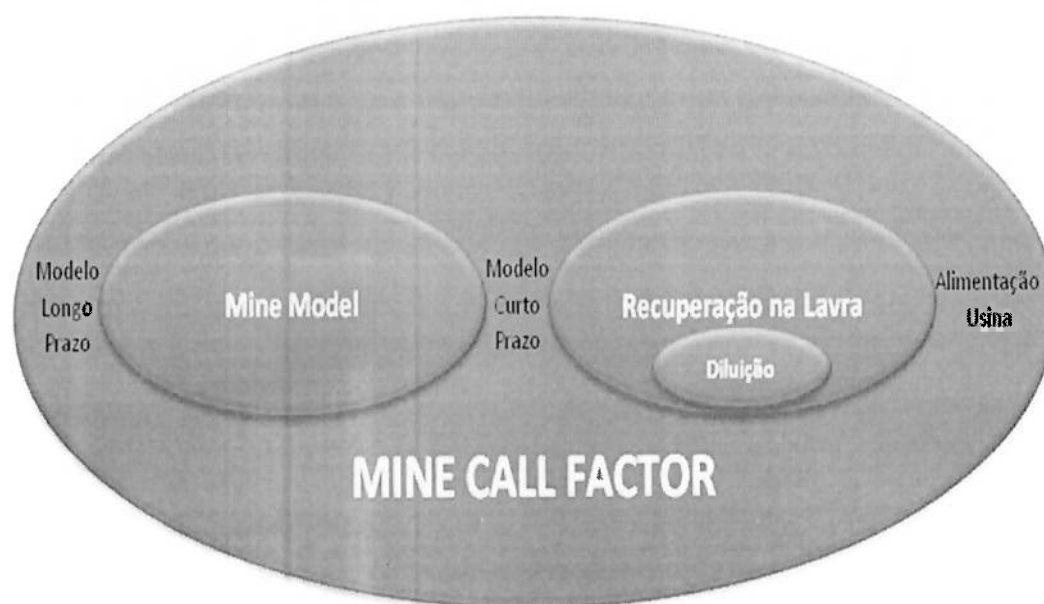


Figura 1 - Correlação entre os índices utilizados na gestão da reconciliação

### 5.3 Exemplo da Utilização das Ferramentas para Melhoria da Reconciliação

Nesta seção abordam-se exemplos práticos da utilização das ferramentas de reconciliação:

Exemplo 1: Uma mina fictícia apresenta no mês um  $MCF = 0,75$ ; portanto sabe-se que o que se tem no modelo de longo prazo está diferente do que está sendo produzido, deve-se então fazer um estudo dos outros índices:  $MM=0,75$ ;  $RL=1$ ;  $Diluição=0,01$ ; com este estudo nota-se que o problema está no campo do Mine Model, ou seja, há uma discrepância de 75% entre o modelo geológico de longo prazo e o de curto.

Exemplo 2: Uma mina fictícia apresenta no mês um  $MCF = 0,80$ ; sabe-se então que o que se tem no modelo de longo prazo está diferente do que está sendo produzido, faz-se então o estudo dos outros índices:  $MM=1$ ;  $RL=0,8$ ;  $Diluição = 1$ ; A partir do estudo destes fatores chega-se à conclusão de que o problema está na recuperação de lavra, e como o fator diluição está alto, ou seja, há a mesma proporção de minério e estéril sendo alimentada à usina, nota-se que o problema deve-se à diluição do minério.

Exemplo 3: Uma mina fictícia apresenta no mês um  $MCF = 0,79$ ; sabe-se então que o que se tem no modelo de longo prazo está diferente do que está sendo produzido, faz-se então o estudo dos outros índices:  $MM=1$ ;  $RL=0,79$ ;  $Diluição = 0,01$ ; A partir do estudo destes índices chega-se à conclusão de que o problema está na recuperação de lavra, porém a diluição está baixa, portanto o problema está nas outras ineficiências da recuperação de lavra, e deve encontrar-se entre a etapa de planejamento de curto prazo e a operação de mina.

Estes exemplos são uma forma didática de entender a utilização dos índices de reconciliação, e evidenciam a importância de seu uso no processo da gestão.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a proposição de uma metodologia passo a passo de gestão do planejamento e reconciliação da lavra, utilizando-se de observações feitas em campo e pesquisa bibliográfica, evidenciando suas dificuldades, propondo soluções a elas.



No campo de planejamento de lavra pôde-se notar o quanto é difícil e quantas restrições devem ser enfrentadas para que o que foi planejado seja cumprido. As soluções propostas são frutos de observações e conversas com engenheiros que possuíam grande experiência de campo, porém não tendo sido testadas, portanto deve-se levar este trabalho como um auxiliar no planejamento adequando as proposições dele à prática, porém buscando soluções para outros problemas que não foram mencionados.

No campo da Gestão da reconciliação, que deve ser levada concomitância e harmonia com o planejamento, foram discutidas a utilização de índices que auxiliarão em seu gerenciamento. Alguns destes índices são já bem conhecidos, porém outros são fatores utilizados pelo por grupos restritos. A padronização da utilização de tais índices está diretamente relacionada à capacidade de uma boa gestão de reconciliação para qualquer mina.

O trabalho propôs um agrupamento lógico de todos estes índices mencionados para serem utilizados como parâmetros determinantes para tomada de decisão nas etapas do planejamento de lavra. Logo, pode-se observar que os processos de planejamento de lavra e de reconciliação devem ser analisados de forma conjunta e contínua para que se possa mais facilmente encontrar os problemas e buscar soluções para um andamento harmonioso da gestão da mina e de sua produção.

## 7. REFERÊNCIAS

GY, P. 1998. **Sampling of particulate materials Theory and practice**. 1st ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, England.

IMRIE, G.O.C. 2001. **Ore-flow optimization: mine to mill integration - the next step improvement**. Hatch Beddows Strategy Consulting, Australia.  
<[http://www.hatch.ca/Operations\\_Support/articles.htm](http://www.hatch.ca/Operations_Support/articles.htm)>.

OMEGA GEO-CONSULTING 2005. **On mine-to-mill reconciliation**. Omega Geo-Consulting Pty Ltd, Australia.  
<<http://www.omegagco.com/pdfs/omegatp-10.pdf>>.

SNOWDEN, V. 1990. **Grade control and reconciliation**., Australia.  
<<http://www.snowdengroup.com/Files/>>.

THOMAS, N. & SNOWDEN, V. 1990. **Improving reconciliation and grade control by statistical and geostatistical analysis**. In: Strategies for Grade Control, págs. 49-59, AIG Bulletin 10, Australia.  
<<http://www.snowdengroup.com/Files/>>.

SOUSA. RONDINELY, 2009. **Performance-driven methodology of reconciliation for mined-out reserves**, Colorado, USA.

CHIEREGATI, A. C. 2007. **Reconciliação pró ativa em empreendimentos mineiros**, Tese de mestrado, São Paulo, Brasil.

PASCQUA, R. C. 2009. **A Importância da Gestão da Operação de Minas no Controle da Qualidade de Lavra**, Relatório de Estágio, São Paulo, Brasil.