



Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Escola de Minas – NUPEC/Fundação Gorceix
Programa de Especialização em Sistemas Mínero-Metalúrgicos



RECONCILIAÇÃO: ESTUDO DA METODOLOGIA UTILIZADA NA MINA FÁBRICA DA VALE S.A. EM OURO PRETO, MINAS GERAIS

Autora: Renata Santos Duarte

Orientador: Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa

Ouro Preto, setembro de 2009

**RECONCILIAÇÃO: ESTUDO DA METODOLOGIA UTILIZADA
NA MINA FÁBRICA DA VALE S.A. EM OURO PRETO,
MINAS GERAIS**

RENATA SANTOS DUARTE

Monografia apresentada ao Curso
de Especialização em Sistemas
Míneros-Metalúrgicos, para
obtenção do título de Especialista.

**OURO PRETO
2009**

RECONCILIAÇÃO: ESTUDO DA METODOLOGIA UTILIZADA NA MINA
FÁBRICA DA VALE S.A. EM OURO PRETO,
MINAS GERAIS

AUTORA: RENATA SANTOS DUARTE

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Míneros-
Metalúrgicos, para obtenção do título de Especialista.

Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa (UFOP, orientador)

Nome Completo
Titulação
Instituição

CONCEITO FINAL: _____

Ao meu pai Dr. Artur, com muito amor e eterna gratidão!

Ao meu avô Altemício... Saudades!

“(...) a mais graciosa das paisagens não satisfaz quando não se vê nela sinal de atividade humana. Há séculos adornada daquele modo pela natureza, ricamente dotada como poucas, desperta, quando quase nunca pisada por pés humanos, a mesma melancolia de uma casa belamente construída que jamais foi habitada, ou cujos habitantes já faleceram há longo tempo”. (ESCHWEGE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por conceder-me tudo e permitir mais essa realização na minha vida! Aos meus pais Artur e Julieta, meus irmãos Roberta e Luiz Arthur, pelo amor e apoio incondicional.

Ao professor Dr. Wilson Trigueiro de Sousa, pela sabedoria, paciência e amizade.

Aos engenheiros Breno Cardozo e Flávio Vieira, os primeiros idealizadores desse projeto.

Aos geólogos Frederico Góes, Leonardo Figueiredo Faria, pela disponibilidade, carinho e colaboração.

Aos engenheiros, técnicos, supervisores e oficiais de mineração da Mina Fábrica, que colaboraram muito para a realização desse trabalho.

À Universidade Valer e à Vale, pelo apoio e confiança.

À Escola de Minas – UFOP e à Fundação Gorceix, pela pro - atividade e excelência em mineração.

RESUMO

Reconciliação é uma atividade praticada em várias empresas de mineração, a fim de gerar uma integração entre cada etapa das operações unitárias e promover um melhor aproveitamento de recursos. Pode ser definida como um teste para verificar a qualidade dos produtos estimada pelo modelo de blocos, através da comparação do valor estimado com o valor medido pelo despacho eletrônico. A metodologia utilizada para reconciliação na Mina Fábrica vem sendo estudada e aperfeiçoada desde 2004, quando foram feitos os primeiros trabalhos oficiais. Nota-se que existem discrepâncias significativas entre os valores cubados pelo modelo de blocos e apontados pelo sistema de produção em todas as minas da Diretoria de Ferrosos Sul, Vale. Um bom acompanhamento da reconciliação traz maior confiabilidade quanto à viabilidade econômica da mina, gera redução de custos e propicia um melhor aproveitamento dos recursos existentes.

Palavras chave: Mina Fábrica, reconciliação, modelo de blocos, planejamento de mina.

ABSTRACT

Reconciliation is an activity practiced in several mining companies, in order to generate integration between each step of unit operations and promote a better use of resources. It can be defined as a test to check the products quality estimated by the block model through the comparing of the estimated value with the value measured by electronic order. The methodology used for reconciliation in the Mina Fábrica comes been studied and perfected since 2004, when the first official works had been made. Note that there are significant discrepancies between the values cubed block model and identified by the production system in all mines of the Ferrous South Valley. There is that significant discrepancies between the values cubed for the model of blocks and pointed by the system of production in all mines of the Directorship Ferrous South, Valley. A good monitoring of the reconciliation brings greater reliability about the economic viability of the mine, reduces cost and provides a better use of existing resources.

Keywords: Mina Fábrica, reconciliation, block model, mine planning.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Localização e Contexto Histórico.....	15
2.2	Aspectos Geológicos	17
2.3	Planejamento de Curto Prazo	20
2.4	Operação de Mina e Controle de Qualidade	21
2.5	Beneficiamento de Minérios	22
2.6	Práticas de Reconciliação	24
2.7	Metodologia Utilizada para Reconciliação na Mina Fábrica	26
2.7.1	Descrição dos Procedimentos.....	27
2.7.2	Geração das Superfícies Topográficas.....	28
2.7.3	Geração do Modelo de Blocos	28
2.7.4	Cubagens	31
2.7.5	Registros de Produção	31
3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das Minas do Sistema Sul. Fonte: VALE, 2009.	15
Figura 2: Entrada da galeria com trilhos para o compressor Demag.	16
Figura 3: Mina Fábrica - João Pereira.	17
Figura 4: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.	18
Figura 5: Fluxograma da Usina de Concentração.	23
Figura 6: Fluxograma da Usina de Pelotização.	24
Figura 7: Metodologia de reconciliação.	27
Figura 8: Linhas topográficas de Área X, Mina Fábrica.	28
Figura 9: Vista em planta da superfície topográfica de Área X, secção A-B.	29
Figura 10: Vista em perfil do modelo geológico, na secção A-B, da superfície topográfica de Área X. IFR- Itabirito friável rico; IGO- itabirito goethítico; HGO- hematita goethítica; HC - hematita compacta; IF – itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IMN – itabirito manganêsífero; IC – itabirito compacto; IFP – itabirito friável pobre; QFE – quartzito ferruginoso. Fonte: Vale, 2009.	30
Figura 11: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina João Pereira, 2007. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganêsífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto. Fonte: VALE, 2009.	35
Figura 12: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina Segredo, 2007. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganêsífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto. Fonte: VALE, 2009.	35

Figura 13: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina João Pereira, 2008. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganésífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto.

Fonte: VALE, 2009 37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação Litológica utilizada pela geologia de curto prazo na Mina Fábrica.	20
Tabela 2: Análise quantitativa da reconciliação das unidades de Mina Fábrica em 2007.	34
Tabela 3: Análise quantitativa da reconciliação das unidades de Mina Fábrica em 2008.	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BIF's: Banded iron formation, formações bandadas de ferro.
cm: Centímetro, unidade de medida.
CAT: CATERPILLAR, fabricante de equipamentos.
CVRD: Companhia Vale do Rio Doce
DIFL: Diretoria de Ferrosos Sul – Vale S.A.
DMT: Distância Média de Transporte
Dump ore: Minério de despejo, minério itabirítico de baixo teor de ferro.
EPS: Especificação de Produtos e Serviços, Vale.
FAP: Fluxo Anual de Produção, Vale.
Km: Quilômetro, unidade de medida.
m: metros, unidade de medida
MCF: Mine Call Factor, fator de correção.
NW: Noroeste, coordenadas cartográficas.
NE: Nordeste, coordenadas cartográficas.
Overflow: Transbordado, flutuante.
Oversize: Material retido em peneiras.
PDE: Pátio de Depósito de Estéril, Vale.
P&H: Pincock Allen & Holt, fabricante de equipamentos.
ROM: Run of Mine, minério extraído da mina.
S.A.: Sociedade Anônima
SE: Sudeste, coordenadas cartográficas.
Split: Dimensão
SW: Sudoeste, coordenadas cartográficas.
Underflow: Material afundado.
Undersize: Material passante em peneiras.

1 INTRODUÇÃO

A Vale vem desenvolvendo e aperfeiçoando a metodologia de reconciliação das minas do Sistema Sul (DIFL) desde 2004, atendendo à solicitação feita pela gerência de planejamento de mina à curto prazo e de sua diretoria de operações.

O atendimento às exigências do mercado de minério de ferro está fortemente ligado à verificação da qualidade da estimativa do planejamento de mina. As discrepâncias precisam ser analisadas e ações corretivas devem ser estudadas, a fim de formar uma base consistente e padronizada de dados para a tomada de decisões futuras.

O planejamento de mina à curto prazo tem por objetivo a elaboração do plano de lavra mensal, obedecendo a parâmetros de qualidade e massa, para o atendimento ao mercado consumidor.

Os trabalhos consistem na atualização do modelo geológico de longo prazo, na elaboração dos avanços mensais, no dimensionamento de equipamentos, na orientação a avaliação diária dos trabalhos mineiros, dentre outros.

O plano de lavra da Mina Fábrica é feito através do software Datamine Studio. A reconciliação de minério, de estéril mais *dump ore* (material itabirítico com baixo teor de ferro) é feita mensalmente pela equipe de planejamento a curto prazo, desde setembro de 2008. Os parâmetros utilizados nessa reconciliação são o volume, a massa, a qualidade por faixa granulométrica, a qualidade por cava e o viés em massa e volume.

A reconciliação trimestral e anual é feita sob a responsabilidade do planejamento de longo prazo, executada pela Datamine, a partir dos dados coletados em cada mina da Diretoria de Ferrosos Sul – DIFL. Os parâmetros utilizados são a massa, a porcentagem em massa, e a geração de matriz de migração litológica.

O presente trabalho apresenta um estudo da metodologia de reconciliação da Mina Fábrica, verificando sua importância para o planejamento de mina e apontando prognósticos para otimização do sistema como um todo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Localização e Contexto Histórico

A Mina Fábrica está localizada na região central do estado de Minas Gerais, às margens da rodovia BR040, a cerca de 60 km de Belo Horizonte, sentido Rio de Janeiro (Vale, 2009), conforme mostrado na Figura 1.

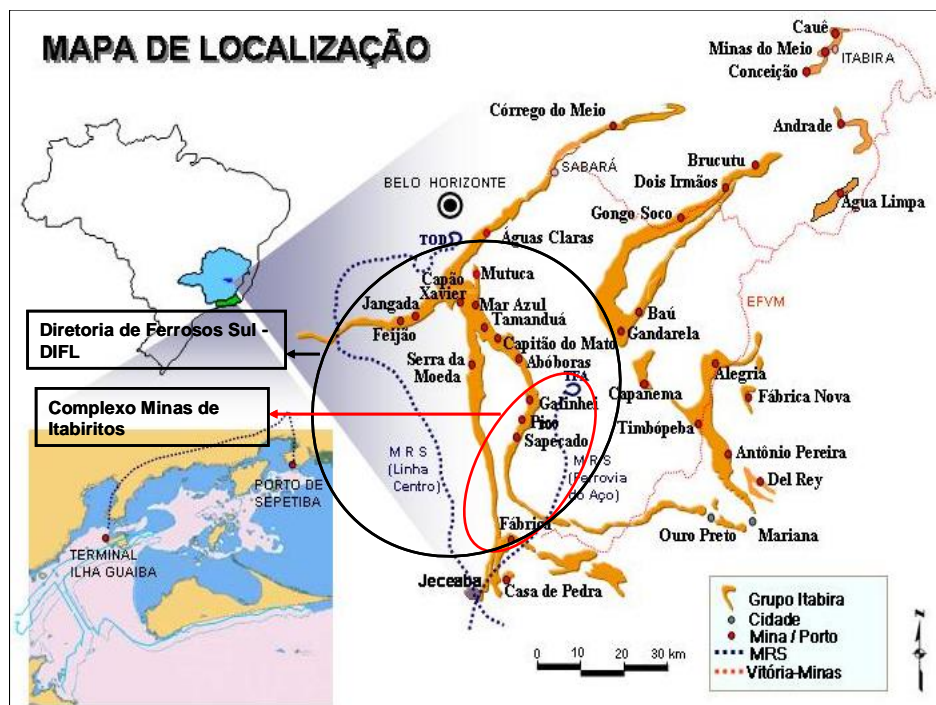


Figura 1: Localização das Minas do Sistema Sul. Fonte: VALE (2009).

Fundada em 1812, sob a liderança do Barão de Eschwege, a Mina Fábrica, foi pioneira na produção de ferro em escala industrial no Brasil, com uma produção de 18 toneladas por ano, denominada inicialmente como Fábrica de Ferro Patriótica.

Em 1923, através de um consórcio de empresas siderúrgicas alemãs, a Mina Fábrica entrou novamente em atividade com o nome de Companhia de Mineração e Carvão, passando a se chamar Ferteco Mineração S.A. no ano de 1973.

A Figura 2 é uma fotografia histórica da Mina Fábrica, tirada em 1937, quando foi instalado o compressor Demag.



**Figura 2: Entrada da galeria com trilhos para o compressor Demag.
Fonte: FERTECO (1937).**

Em 27 de abril de 2001, a CVRD concluiu negociações para a aquisição de 100% do capital da Ferteco Mineração S.A., por 566 milhões de dólares, incluindo as minas Fábrica e Feijão. Naquela época a Ferteco era a terceira maior produtora de minério de ferro do Brasil, possuía reservas lavráveis avaliadas em 263 milhões de toneladas de hematita e itabirito.

Em 2003 a empresa foi incorporada pela CVRD, que em 2009 passou a ter como razão social a marca Vale S.A..

A área de atuação da unidade de Fábrica abrange os municípios de Belo Vale, Congonhas e Ouro Preto. A produção está distribuída atualmente em três unidades: Mina Segredo, Mina João Pereira e Mina Alto Bandeira.

A capacidade de produção anual da Mina Fábrica é de 16 milhões de toneladas de produtos.

A Figura 3 mostra uma foto recente da mina João Pereira, com seus equipamentos de grande porte: Escavadeira elétrica P&H 1900 e um caminhão fora de estrada Caterpillar.



Figura 3: Mina Fábrica - João Pereira.
Fonte: Vale (2006).

2.2 Aspectos Geológicos

A Mina Fábrica está situada na região sudoeste do Quadrilátero Ferrífero (DORR, 1969), especificamente na porção oeste do Sinclinal Dom Bosco, próximo à junção do Sinclinal da Moeda. A Figura 4 mostra um mapa simplificado do Quadrilátero Ferrífero, onde se podem observar eventos geológicos que permitiram a formação ferrífera na região central de Minas Gerais.

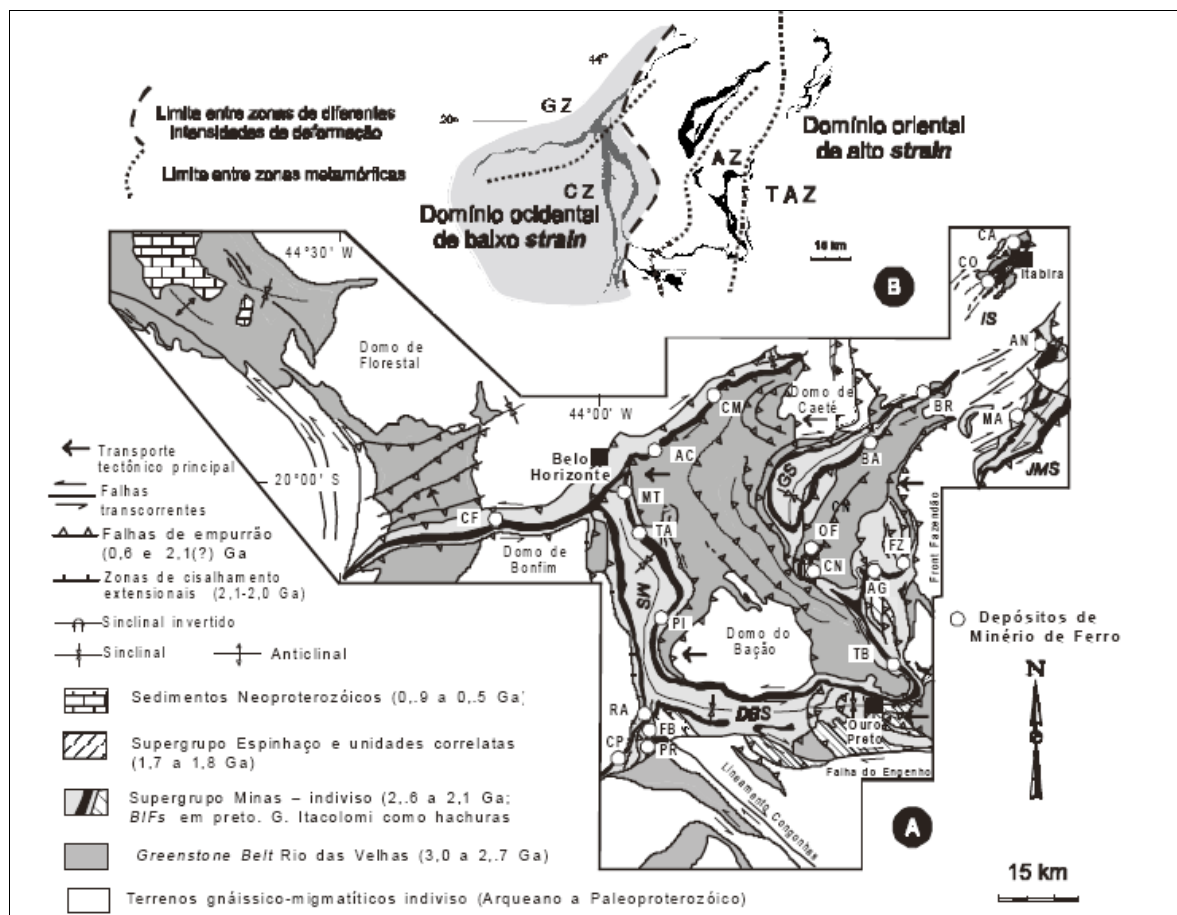


Figura 4: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.
Fonte: Baars & Rossiere in Baars (1997).

[SOUZA GOMES, 2005]. O sinclinal Dom Bosco é uma estrutura com orientação leste-oeste, onde se encontram diversos sistemas de falhas de empurrão, delimitada ao sul pela falha do Engenho e a norte pelo domo do Bação e pelo anticlinal de Mariana. É composto por rochas pertencentes à camada superior da Formação Batatal, por BIF's da Formação Cauê, por filitos do Grupo Piracicaba, e por sericita quartzo xistos e quartzitos do Grupo Itacolomi.

[VALE ARQUIVOS, 2009]. A cava de João Pereira está encaixada em um conjunto de itabiritos silicosos, pertencentes à Formação Cauê, onde o intemperismo resultou na gênese de diversos subtipos litológicos e granulo-químicos, constituídos de hematitas compactas, hematitas finas, itabiritos silicosos, cangas e rolados.

As hematitas compactas ocorrem em corpos lenticulares, ao longo do contato NW dos itabiritos da formação Cauê com os filitos do Grupo Piracicaba, associadas com hematitas finas e itabiritos ricos, na região central da mina. Mineralogicamente são compostas por kenomagnetita, martita, hematita e especularita.

As hematitas finas friáveis ocorrem em corpos descontínuos, concentradas em flancos de dobra e zonas de cisalhamento. São limitadas por itabiritos silicosos, originadas a partir da lixiviação da sílica. Mineralogicamente predominam hematitas martíticas metamórficas, seguidas de magnetitas e specularitas. Nos tipos mais hidratados, são comuns a hematita martítica meteórica e a goethita. As hematitas finas são bandadas, com intercalações de bandas e lâminas, caracterizadas pelos níveis de porosidade e enriquecimento.

Os itabiritos silicosos apresentam bandas e lâminas de quartzo, com espessuras variando de 0,3 cm a 15 cm, intercaladas com uma matriz rica de hematita. Predominam hematitas martíticas, nos tipos mais deformados há maior quantidade de specularita, nos menos deformados há uma maior quantidade de magnetita, os mais hidratados são ricos em goethita. Ocasionalmente, podem ocorrer níveis centimétricos ricos em argila, de cor amarelada a ocre. Filitos maciços de cor ocre, com espessura de 5 cm a 20 cm e comprimento que pode ultrapassar 80 m, ocorrem intercalados aos itabiritos silicosos.

Em João Pereira, verificam-se depósitos sedimentares formados por blocos e matacões, sustentados por uma matriz de areia na fração grossa a silte, formada por fragmentos de itabiritos e cimentada por hidróxidos de ferro. Podem ser friáveis ou compactos, os teores de ferro variam muito, podendo ser similares aos das hematitas, são muito hidratados, com alta perda ao fogo.

A área da Mina Segredo, possui uma estrutura anticlinal, denominada Anticlinório Fábrica, com eixo sub horizontal orientado SE-NW, onde aflora a Formação Cauê na linha de charneira.

As hematitas finas e os itabiritos ricos foram gerados a partir da lixiviação de itabiritos dolomíticos e, em menor proporção, de itabiritos silicosos, pertencentes à parte basal da Formação Cauê.

As hematitas compactas ocorrem em extratos paralelos ao bandamento dos itabiritos dolomíticos.

A classificação litológica utilizada atualmente em Fábrica baseia-se nas propriedades químicas, granulométricas e na proporção de contaminantes, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação litológica utilizada pela geologia de curto prazo na Mina Fábrica.

COR	LITOLOGIA	CLASSE	CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO LITOLÓGICA					
			%Fe GLOBAL	% Fe +6,3mm	% P GLOBAL	%Al GLOBAL	% Mn GLOBAL	%SiO2 Fração 0,1 mm
HGO	HEMATITA GOETHÍTICA	MINÉRIO DE ALTO TEOR	> =63		> 0.12	>2.5		
HC	HEMATITA COMPACTA	MINÉRIO DE ALTO TEOR	> =63	> 50				
HF	HEMATITA FRIÁVEL	MINÉRIO DE ALTO TEOR	> =63	< 50				
IMN	ITABIRITO MANGANESÍFERO	MINÉRIO MARGINAL	>33				> 2.0	
CG	CANGA	MINÉRIO MARGINAL	>= 53			>3.5		
IGO	ITABIRITO GOETHÍTICO	MINÉRIO MARGINAL	< 63		> 0.12	>2.5		
IC	ITABIRITO COMPACTO	ESTÉRIL	< 63	> 50				
IFR	ITABIRITO FRIÁVEL RICO	MINÉRIO DE MEDIO TEOR	53=< Fe<63					
IFP	ITABIRITO FRIÁVEL POBRE	MINÉRIO MARGINAL	33 < Fe <= 53	< 50				> 40
IF	ITABIRITO FRIÁVEL	MINÉRIO DE BAIXO TEOR	33 < Fe <= 53	< 50				
QFE	QUARTZITO FERRUGINOSO	ESTÉRIL	< 33					
IDOL	ITABIRITO DOLOMÍTICO	ESTÉRIL						
DOL	DOLOMITO	ESTÉRIL						
CGE	CANGA ESTÉRIL	ESTÉRIL						
IN	INTRUSIVA	ESTÉRIL FRANCO						
QT	QUARTZITO	ESTÉRIL FRANCO						
XI	XISTO	ESTÉRIL FRANCO						
LT	LATERITA	ESTÉRIL FRANCO						
AT	ATERRO	ESTÉRIL						

Fonte: VALE (2009).

2.3 Planejamento de Curto Prazo

O planejamento de mina de curto prazo elabora do plano de lavra, satisfazendo a parâmetros de qualidade e massa, para o atendimento ao mercado consumidor, através de blendagem do minério proveniente de diversas frentes de lavra.

São feitos estudos para reduzir a distância média de transporte – DMT, através de construção de rampas e acessos. Mensalmente são calculados os custos por tonelada de cada fase de lavra (perfuração, carregamento, transporte, infraestrutura), orçados e realizados.

O modelo de blocos do longo prazo é atualizado quinzenalmente, a partir da pesquisa geológica realizada por sondagens, trincheiras, canaletas de amostragens pontuais e através de mapeamento geológico de frente de lavra.

A equipe de geólogos da Mina Fábrica utiliza o *software* Vulcan para atualizar o modelo de blocos do planejamento de longo prazo, realizando nova *krigagem* e parametrização dos resultados pesquisa geológica, resultando no modelo de blocos do curto prazo, conhecido como modelo casca, com 30 m de profundidade.

Com o modelo preparado e com atualização topográfica, o planejamento de curto prazo simula o plano de lavra, de periodicidade quinzenal, mensal, trimestral e anual, utilizando o *software* Datamine Studio, seguindo as seguintes premissas:

- Fluxo Anual de Produção (FAP), que é uma projeção de quantidade de ROM e estéril a serem produzidas durante o período de um ano, visando atender às exigências de mercado consumidor.
- Especificação de Produtos e Serviços (EPS 001) objetivando atender os parâmetros aceitáveis de teores e contaminantes, por faixas granulométricas, que garantam um bom desempenho da usina de concentração e permitam a produção de cada produto de acordo com o FAP.

Após o fechamento de qualidade e massa do plano de lavra, a equipe de topografia realiza marcações das frentes de lavra, delimitando as regiões de minério, estéril e *dump-ore*.

2.4 Operação de Mina e Controle de Qualidade

[Vale, 2009] A exploração da Mina Fábrica é feita simultaneamente nas cavas de João Pereira, Segredo (Área X, Ponto 2 e Ponto 3) e de Alto Bandeira.

A cava de João Pereira contribui com cerca de 70% da massa produzida na unidade, as minas de Segredo e Alto Bandeira possuem minério com mais alto teor de ferro, regulador de qualidade dos produtos da Mina Fábrica.

A lavra é realizada por frota de grande porte na região de João Pereira, constituída de dez caminhões fora de estrada, duas escavadeiras elétricas P&H 1900 e duas carregadeiras CAT 994.

Em Segredo e Alto Bandeira são utilizados equipamentos de pequeno porte, composto atualmente por cinco carregadeiras e dezessete caminhões traçados.

O estéril franco da Mina João Pereira é depositado na pilha de estéril (PDE) de Marés, e o material itabirítico (*dump-ore*) é depositado separadamente no PDE Barnabé, a fim de ser aproveitado como minério futuramente.

Em Mina Segredo o estéril franco é disposto no PDE de Freitas, nesse caso não há separação do *dump ore*.

O Controle de Qualidade é responsável pela programação e formação das pilhas de minério (ROM) que alimentam a usina, a partir da blendagem do minério oriundo de

diversas áreas, respeitando as diretrizes de qualidade e massas contidas no plano de lavra. Monitora possíveis ajustes e alternativas de produção, efetuando discussões diárias com a equipe de planejamento de mina de curto prazo.

2.5 Beneficiamento de Minérios

[VALE, 2009] A Mina Fábrica possui um sistema de produção dividido basicamente em três fases: lavra, concentração e pelotização. A unidade de beneficiamento inicia-se com a britagem primária e homogeneização de pilha tipo *windrow*, cujo pátio tem capacidade de 300 mil toneladas.

Para obtenção do granulado e da *hematitinha* é feito o peneiramento a úmido com cominuição do minério em britagens secundária e terciária. A fração fina é separada em classificadores espirais de onde se obtém o *sinter feed*. O *overflow* dos classificadores espirais é destinado ao processo de concentração magnética de alta intensidade, onde o concentrado gerado é posteriormente cominuído em moinhos de bolas e filtrado em filtros verticais para abastecer a usina de pelotização. O rejeito gerado na separação magnética, após ser adensado em espessadores, é bombeado e disposto em barragens. A Figura 5 mostra o fluxograma simplificado das etapas de tratamento de minério da usina da Mina Fábrica.

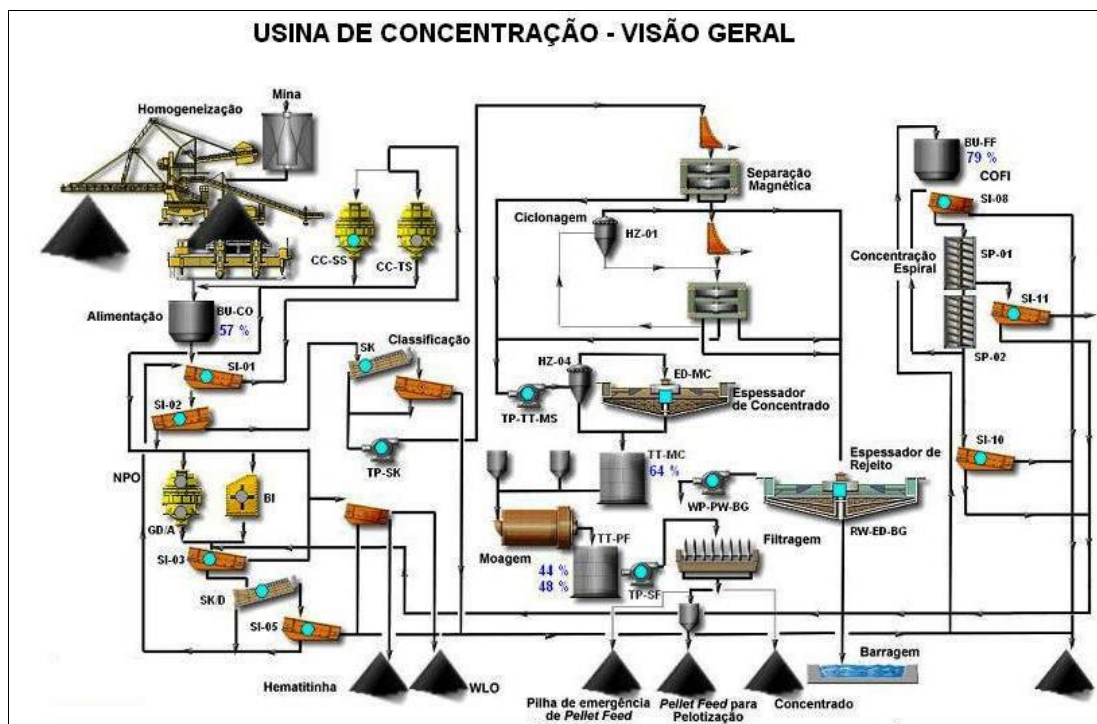


Figura 5: Fluxograma da Usina de Concentração.
Fonte: VALE (2009)

A usina de concentração produz granulados, o *sinter feed* e o *pellet feed*.

A usina de pelotização produz pelotas, através de seis tambores de pelotização, com capacidade de produção de 4 milhões de toneladas por ano. A Figura 6 mostra o fluxograma da usina de pelotização da Mina Fábrica.

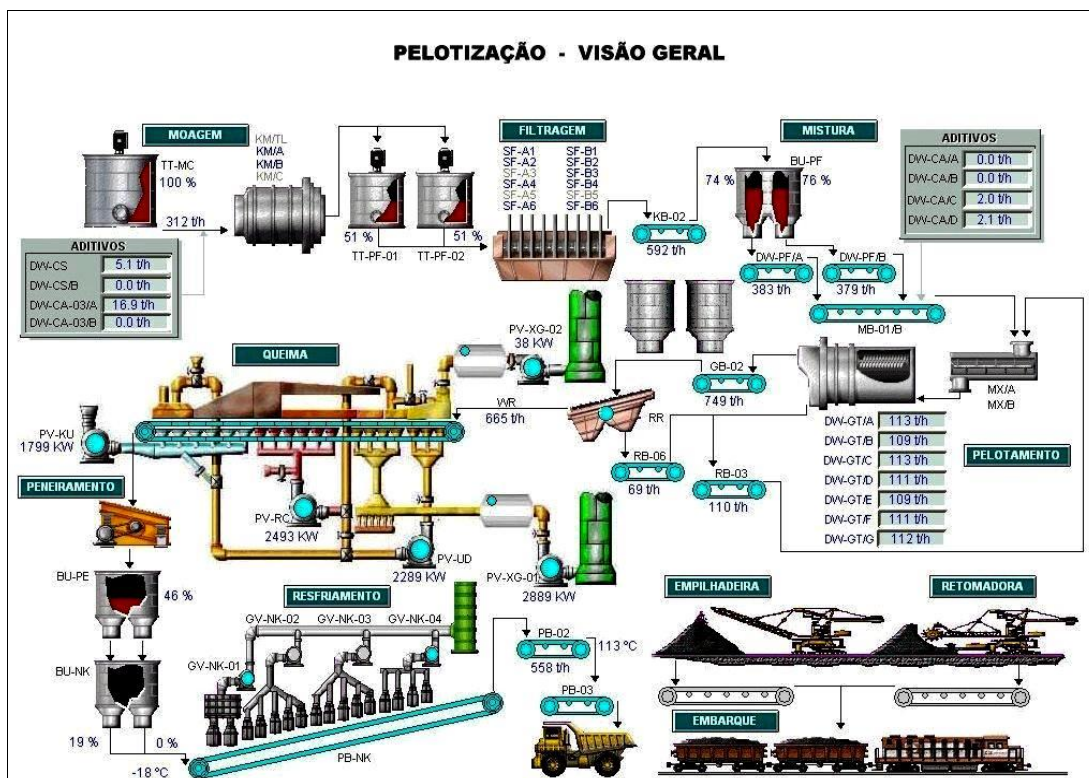


Figura 6: Fluxograma da Usina de Pelotização.
Fonte: VALE (2009)

A Mina Fábrica também dispõe de uma instalação de tratamento de minério a seco - ITMS, com capacidade de alimentação e produção de 1,8 milhões toneladas por ano. É constituído por uma britagem primária, em britador de mandíbulas, seguido de um peneiramento duplo deck. O oversize da peneira é encaminhado ao britador cônico. Os produtos gerados nesse processo são granulados e *finos naturais*.

2.6 Práticas de Reconciliação

Segundo C MORLEY (2003), a reconciliação é definida como uma verificação da eficiência da simulação do plano de lavra através de comparações com os apontamentos de produção e usina de concentração. C. MORLEY observou que no passado, a reconciliação baseava-se na definição do *mine call factor* (MCF) e na sua aplicação para correção das estimativas dos modelos geológicos, prática definida como reconciliação reativa.

Entretanto, a aplicação de fatores de correção às estimativas dos modelos pode camuflar os erros responsáveis pelas discrepâncias observadas, então surge o

conceito de reconciliação pró-ativa, que é um processo que permite uma correção das metodologias de coleta de dados, e não apenas uma correção das estimativas dos modelos.

CHIEREGATI (2007) define reconciliação como um processo de validação das estimativas dos modelos geológicos e do controle de teor, permitindo uma reavaliação das práticas de planejamento de lavra e o desenvolvimento de processos, com o objetivo de aumentar a eficiência das operações. A autora afirma que a reconciliação pró-ativa permite ajustar os processos de forma corretiva, para que a variabilidade entre os valores estimados e os valores medidos seja mínima. Desta forma, as estimativas tornam-se mais confiáveis, podendo formar uma base para a tomada de decisões no futuro. CHIEREGATI ressaltou a importância de uma amostragem correta, ou seja, quando todas as partículas de um determinado lote têm a mesma probabilidade de serem escolhidas. Os erros de amostragem desencadeiam uma série falhas no modelo geológico que, associado aos erros operacionais, são as principais causas das discrepâncias que ocorrem na reconciliação.

HILÁRIO (2005) ressalta que além de evidenciar a confiabilidade dos modelos de blocos, a reconciliação permite determinar medidas de otimização dos recursos da empresa e diminuir a incidência de ocorrências operacionais indesejáveis. A partir da reconciliação dos dados de produção com o modelo de blocos é feita a análise da qualidade da estimativa quanto à partição de produtos e quanto às especificações de qualidade. Após anos de aprimoramentos do sistema, verificou-se que a diferença entre os teores estimados e realizados foram reduzidos para valores da ordem de 0,02% em Carajás. Através desse estudo de caso, concluiu-se que a reconciliação permite avaliar os dados históricos e aplicá-los de uma forma estatística, evitando a repetição erros.

A PINCOCK (2007) fez um estudo, encomendado pela Vale, da reconciliação de estéril em várias unidades da Diretoria de Ferrosos. Verificou-se que as discrepâncias entre os modelos de longo prazo e curto prazo ultrapassaram 20% em algumas unidades. Houve também variações significativas entre o volume das pilhas de estéril e o volume apontado pela medição topográfica das pilhas, esses erros tiveram origem a partir das medidas do fator de empolamento do material, que sofreu variações do banco à pilha. Verificaram-se também divergências entre fatores

de carga dos caminhões nas minas estudadas, a RUNGE recomendou que se faça uma calibração das balanças de caminhões.

A DATAMINE (2007) executou o projeto de reconciliação das minas de ferro do Sistema sul da Vale, Complexo Minas de Itabiritos (DIFL), aplicando a metodologia elaborada em 2004, efetuando o fechamento trimestral e anual da produção. Verificou-se que, na maioria dos casos, os teores se apresentaram fora da margem de tolerância de 10%. Foram identificadas deficiências de amostragens, foi proposta uma mudança nos conceitos e na metodologia de amostragem e coleta de materiais.

A DATAMINE (2008) fez novamente a reconciliação das minas da DIFL, utilizando a mesma metodologia do projeto executado em 2007 (citado anteriormente). Foi observado que a massa da Mina Fábrica apresentou uma flutuação dentro do padrão aplicado em todos os trimestres, de forma que existe uma compensação mássica entre minério e estéril em todas as minas.

2.7 Metodologia Utilizada para Reconciliação na Mina Fábrica

A reconciliação foi feita com periodicidade trimestral e anual para todas as minas da Diretoria de Ferrosos Sul (DIFL), pela Datamine Latin America – Brasil, encomendada pela gerência de planejamento de mina.

A metodologia utilizada para a realização desse estudo foi feita com base nos procedimentos adotados pela VALE para executar o projeto de reconciliação.

A Figura 7 apresenta um esquema simplificado da metodologia do processo de reconciliação.

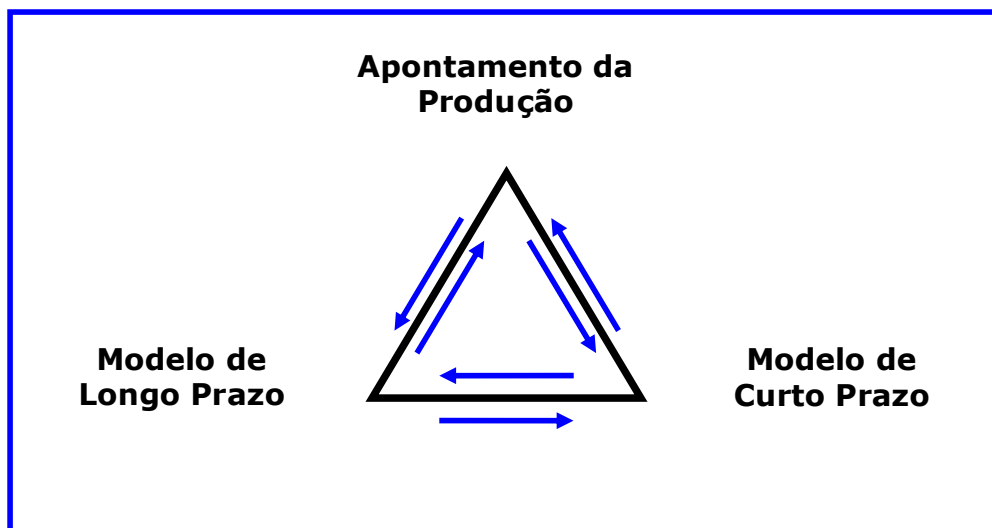


Figura 7: Metodologia de reconciliação.
Fonte: DATAMINE (2007).

2.7.1 Descrição dos Procedimentos

A reconciliação de lavra da Mina Fábrica inclui as seguintes comparações:

- Modelo geológico de longo prazo (cubado) versus apontamento de produção (realizado).
- Modelo geológico de longo prazo (cubado) versus modelo geológico de curto prazo (cubado).
- Modelo geológico de curto prazo (cubado) versus apontamento de produção (realizado).

A obtenção de dados envolve as seguintes fases:

- Cálculo da massa lavrada de minério, estéril e *dump ore*, por cubagem entre superfícies topográficas através do software Datamine Studio;
- Registros de produção, obtidos no despacho eletrônico, através do software de armazenamento de dados Powerview;
- Registros de alimentação da usina de concentração.

A análise dos dados coletados é feita com objetivo de verificar a eficiência do modelo de blocos, observar se há discrepâncias entre o que foi cubado e o apontado, e identificar possíveis falhas no sistema operacional.

2.7.2 Geração das Superfícies Topográficas

As superfícies são geradas a partir das linhas de levantamento topográfico, de forma a medir o avanço da lavra em cada região contemplada pelo plano mensal, e também nas áreas que por ventura forem lavradas fora do plano.

A Figura 8 mostra a superfície topográfica da cava Área X – Mina Segredo, importada pelo programa Datamine Studio.

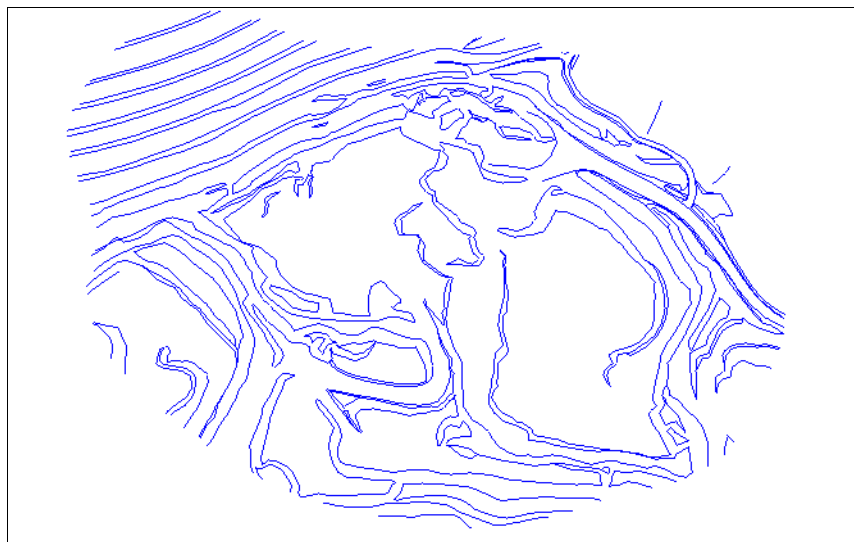


Figura 8: Linhas topográficas de Área X, Mina Fábrica.
Fonte: Vale (2009)

Utiliza-se o mesmo limite da área de lavra para todos os meses, evitando o processamento desnecessário de dados e eliminando áreas onde não houve movimentação de material.

2.7.3 Geração do Modelo de Blocos

O modelo de blocos da Mina Fábrica foi gerado usando um *split* de 3, isto significa que a menor dimensão dos blocos no plano XY é de 12,5m.

A seguir o modelo de blocos original é adicionado ao modelo sublocado, para que o modelo de curto prazo contenha os dados geológicos do modelo original.

Por fim, separam-se todos os blocos lavrados, gerando um novo modelo de blocos, que contém apenas os blocos e sub-blocos do modelo original que foram extraídos entre as duas superfícies topográficas.

A Figura 9 mostra a superfície topográfica da Área X da Mina Segredo, onde foi feito um corte em perfil A-B, com 10 m de profundidade, cujas características do modelo de blocos encontram-se na Figura 10.

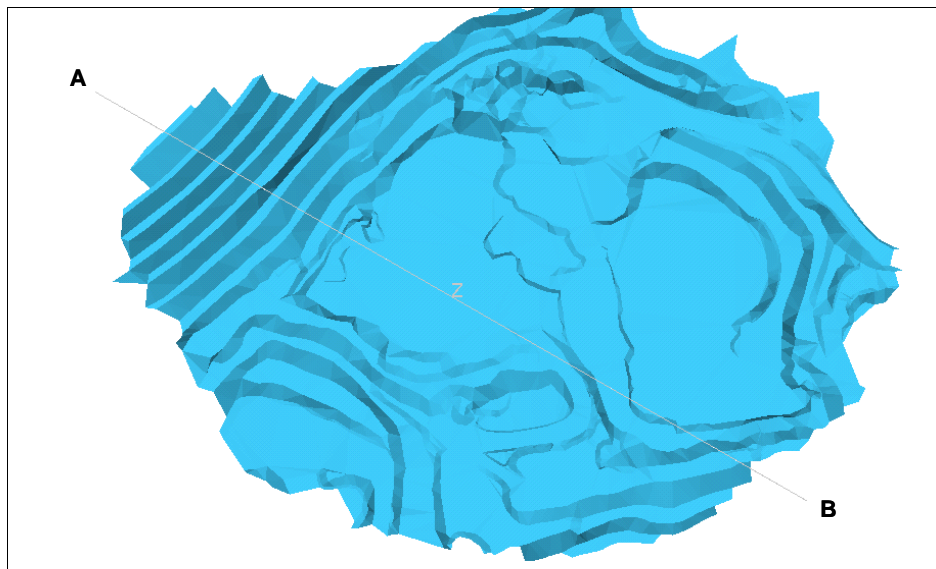


Figura 9: Vista em planta da superfície topográfica de Área X, secção A-B.
Fonte: Vale (2009).

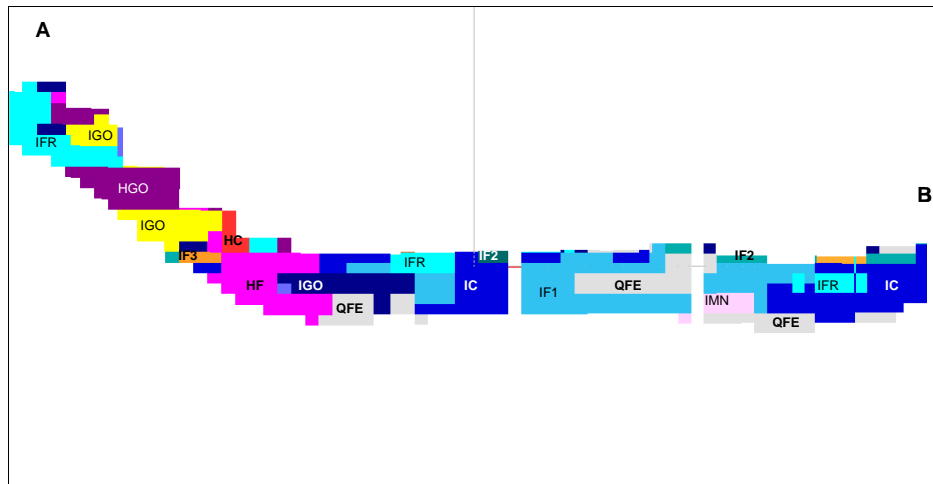


Figura 10: Vista em perfil do modelo geológico, na secção A-B, da superfície topográfica de Área X. IFR- Itabirito friável rico; IGO- itabirito goethítico; HGO- hematita goethítica; HC - hematita compacta; IF – itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IMN – itabirito manganésífero; IC – itabirito compacto; IFP – itabirito friável pobre; QFE – quartzito ferruginoso. Fonte: Vale (2009).

2.7.4 Cubagens

As cubagens entre as superfícies topográficas são feitas a partir de dados da topografia inicial, a mesma que foi utilizada para elaboração do plano de lavra do mês corrente, com a topografia final, que será utilizada para elaboração do plano de lavra do mês seguinte e dos dados do modelo geológico

As cubagens do modelo são feitas por litotipo e por faixa granulométrica, utilizando-se legendas de classificação em minério e estéril.

As topografias mensais são atualizadas na última segunda-feira de cada mês, compreendendo intervalos de dias que variam mês a mês. Os resultados são gerados em planilhas do Microsoft Excel, a partir do *script* do programa Datamine desenvolvido para a Vale.

Dessa forma obtêm-se informações referentes ROM (*run of mine*) lavrado, quanto ao volume, massa e litologia, separados por faixas granulométricas de acordo com as estimativas dos modelos de blocos.

Também são feitas cubagens em pilhas de estéril, cuja massa é estimada a partir da densidade da rocha empolada. É possível discriminar a movimentação de estéril e *dump-ore*, pois estes são depositados em diferentes locais na Mina Fábrica.

2.7.5 Registros de Produção

O sistema de despacho da Mina Fábrica utiliza o software Powerview.

A massa de minério e estéril movimentada é medida e registrada pelo despacho eletrônico, através dos dados de produção obtidos por meio de balanças contidas nos equipamentos e algumas vezes através de estimativas de valores associados a cada equipamento, de acordo com a sua capacidade, durante o mesmo período compreendido pelas atualizações topográficas.

Também é registrada no Powerview a massa e a qualidade do ROM que alimenta a usina de tratamento, por fração granulométrica, através de amostragem manual no

transportador de correia, cujo incremento é obtido de hora em hora, gerando uma amostra por turno de seis horas.

A qualidade do ROM proveniente das pilhas de homogeneização é verificada através de amostragem manual, no buco alimentador (transportador de correia).

A programação das pilhas é feita através do diagrama de blocos, confirmada por amostras de frente de lavra, realizadas pela equipe do controle de qualidade.

Os dados são gerados automaticamente no despacho eletrônico no final de cada turno, de seis horas em seis horas.

A partir das cubagens e dos registros de produção são geradas tabelas de migração litológica entre os modelos geológicos de curto e longo prazo.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A reconciliação da Mina Fábrica analisou separadamente as regiões de Segredo, João Pereira e. Alto Bandeira.

Quando são analisados os modelos de blocos com os apontamentos de produção, os valores positivos significam que a massa cubada foi maior do que a massa apontada e vice-versa.

Adotou-se a seguinte fórmula:

$$R\% = [(MC - MA) / MC] * 100\%$$

Onde R% é a percentagem em massa; MC é massa cubada; MA é a massa apontada.

Quando são analisados os modelos de blocos de longo e curto prazo, os valores positivos significam que a massa cubada do modelo de longo prazo foi maior do que a massa cubada pelo modelo de curto prazo e vice versa.

Adotou-se a seguinte fórmula:

$$R\% = [(MCL - MCC) / MCC] * 100\%$$

Onde R% é a percentagem em massa; MCL é massa cubada do longo prazo; MCC é a massa cubada do curto prazo.

A Tabela 2 apresenta o viés em relação à massa da reconciliação do ano de 2007.

Tabela 2: Análise quantitativa da reconciliação das unidades de Mina Fábrica em 2007.

Reconciliação Modelo Longo Prazo versus Apontamento Produção (% em massa)					
2007		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	47.6	63.2	*	38.5
	Estéril	-19.5	-44.9	*	-44.4
	Total	24.5	23.3	*	7.4
Reconciliação Modelo Curto Prazo versus Apontamento Produção (% em massa)					
2007		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	10.3	-19.0	-74.0	-21.0
	Estéril	42.3	3.9	-66.7	-2.8
	Total	21.3	-10.5	-71.0	-14.2
Reconciliação Modelo Longo Prazo versus Modelo de Curto Prazo (% em massa)					
2007		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	33.9	101.3	*	*
	Estéril	-43.4	-47.0	*	*
	Total	2.7	37.8	*	*

Fonte: VALE (2009).

Em 2007 verifica-se um melhor resultado final para o modelo de longo prazo versus apontamento de produção, de 7,4%. Porém quando se analisa separadamente estéril e minério verifica-se que 38,5 % do minério cubado pelo modelo de blocos foi apontado como estéril, e 44,4% do estéril cubado foi apontado como minério, ou seja, existe uma compensação mássica.

Ao analisar os resultados do modelo de curto prazo versus apontamento de produção verifica-se um pior resultado final de -14,2%, no entanto a massa de minério apontado foi 21,0% maior do que o cubado, o mesmo acontece com a massa de estéril, que foi 2,8% maior do que a massa cubada, e está dentro dos parâmetros aceitáveis, de [+10%,-10%].

A mina Alto Bandeira apresentou grandes discrepâncias, em que a massa apontada foi muito maior do que a massa cubada pelo modelo de curto prazo, tanto para o estéril quanto para o minério, nesse caso não houve compensação mássica.

De acordo com os resultados obtidos relativos às cubagens do modelo de longo prazo versus cubagens do modelo de curto prazo verifica-se uma discrepância significativa na Mina João Pereira, em que a quantidade de minério contemplada pelo modelo de longo prazo é 101,3% maior do que o minério cubado do modelo de curto prazo.

Foram geradas matrizes de migração litológica da minas João Pereira e Segredo, onde são apresentadas as massas cubadas pelo modelo de longo prazo, por litologia, e as massas que foram confirmadas pelo modelo de curto prazo e suas respectivas porcentagens.

A Figura 11 mostra o percentual das massas do modelo de longo prazo, por litologia, que foram confirmadas pelo modelo de curto prazo na Mina João Pereira em 2007.

		MODELO LONGO PRAZO									
		AT	CG	HM	IC	IF	IFR	IGO	IMN	QFE	XI
MODELO CURTO PRAZO	AT	63									
	CG		14								
	HM			27							
	IC				27						
	IF					46					
	IFR						52				
	IGO							51			
	IMN								59		
	QFE									29	
	XI										37

Figura 11: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina João Pereira, 2007. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganêsífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto. Fonte: VALE (2009)

Ao analisar a matriz de migração litológica da mina João Pereira, 2007, verifica-se 27% da massa de hematita contemplada no modelo de longo prazo foi confirmada pelo modelo de curto prazo. Cerca de 16% da massa total de hematita foi reclassificada como IF, IFR e IGO.

A Figura 12 mostra o percentual das massas, por litologia, que foram confirmadas pelo modelo de curto prazo na mina Segredo em 2007.

		MODELO LONGO PRAZO									
		AT	CG	HM	IC	IF	IFR	IGO	IMN	QFE	XI
MODELO CURTO PRAZO	AT	28									
	CG		12								
	HM			61							
	IC				0						
	IF					34					
	IFR						62				
	IGO							52			
	IMN								67		
	QFE									60	
	XI										25

Figura 12: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina Segredo, 2007. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganêsífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto. Fonte: VALE (2009)

Ao analisar a matriz de migração litológica da mina Segredo, 2007, verifica-se que 61% da massa de hematita contemplada no modelo de longo prazo foi confirmada pelo modelo de curto prazo. Cerca de 70% da massa total de itabirito compacto (estéril) foi reclassificada como IFR.

A Tabela 3 apresenta o viés em relação à massa da reconciliação da Mina Fábrica, em 2008.

Tabela 3: Análise quantitativa da reconciliação das unidades de Mina Fábrica em 2008.

Reconciliação Modelo Longo Prazo versus Apontamento Produção (% em massa)					
2008		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	-8.2	22.0	-59.3	10.2
	Estéril	-22.4	-19.7	739.8	-13.6
	Total	-14.0	4.6	49.4	0.6
Reconciliação Modelo Curto Prazo versus Apontamento Produção (% em massa)					
2008		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	9.8	35.4	-25.1	26.6
	Estéril	-49.6	-37.8	310.7	-38.1
	Total	-14.6	4.8	20.6	1.4
Reconciliação Modelo Longo Prazo versus Modelo de Curto Prazo (% em massa)					
2008		Segredo	João Pereira	Alto Bandeira	Mina Fábrica
	Minério	-16.4	-9.9	-45.6	-13.0
	Estéril	53.9	29.3	104.5	39.6
	Total	0.7	-0.2	23.9	0.2

Fonte: VALE (2009).

Em 2008 verificam-se bons resultados para reconciliação da Mina Fábrica, quando analisada em relação à massa total. Os valores totais menores confirmam que há uma compensação em massa, ou seja, parte do estéril cubado foi apontado como minério e parte do minério cubado foi apontado como estéril. Isso pode ocorrer devido à grande complexidade da geologia estrutural e da litologia na Mina Fábrica.

A mina Alto Bandeira apresentou as maiores discrepâncias em todas as comparações, cabe ressaltar que até 2007 não havia modelo geológico de longo prazo, ou seja, é possível as informações geológicas ainda sejam insuficientes para uma análise mais detalhada.

Foi gerada a matriz de migração litológica da mina João Pereira em 2008, cujos resultados estão apresentados na Figura 13.

MODELO CURTO PRAZO	MODELO LONGO PRAZO									
	AT	CG	HM	IC	IF	IFR	IGO	IMN	QFE	XI
	64									
		52								
			4							
				18						
					59					
						2				
							0			
								1		
									0	
										52

Figura 13: Matriz de migração litológica entre os modelos de longo prazo e curto prazo da mina João Pereira, 2008. Legenda: AT-aterro; CG-canga; HM – hematita; IC – itabirito compacto; IF itabirito friável; IFR – itabirito friável rico; IGO – itabirito goethítico; IMN – itabirito manganêsífero; QFE – quartzito ferruginoso; XI- xisto. Fonte: VALE (2009)

Ao analisar a matriz de migração litológica da mina João Pereira, 2008, verifica-se que apenas 4% da massa de hematita contemplada no modelo de longo prazo foi confirmada pelo modelo de curto prazo, cerca de 88% da massa total de hematita foi reclassificada como IF e IFR.

A reconciliação da Mina Fábrica em 2008 apresentou melhores resultados do que em 2007, mas quando é feita uma avaliação mais detalhada, por cava, verificam-se grandes discrepâncias, principalmente na mina Alto Bandeira.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito esforço tem sido feito para reduzir as discrepâncias existentes entre os valores cubados pelo modelo de blocos e os valores apontados pela produção na Mina Fábrica.

Os erros que impactam na reconciliação da Mina Fábrica, desde a pesquisa mineral até a produção da usina estão sendo apurados e minimizados.

É preciso melhorar a metodologia de amostragem em todas as fases de exploração, especialmente na alimentação da usina de concentração, onde a amostragem é insuficiente e manual. Alguns estudos têm sido realizados para a instalação de uma torre de amostragem na pilha de homogeneização.

A calibração das balanças dos equipamentos de transporte é imprescindível para o controle das massas movimentadas e das aderências aos planos de lavra.

A padronização e automatização da metodologia de reconciliação são indispensáveis para evitar os erros de manipulação de dados e permitirem um controle maior sobre o que está sendo executado nas minas.

Um bom acompanhamento da reconciliação traz maior confiabilidade quanto à viabilidade econômica da Mina Fábrica, gera redução de custos e propicia um melhor aproveitamento dos recursos existentes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HILÁRIO, João Augusto, 2003. Reconciliação de Reservas e Minas, O Teste de São Tomé da Mineração - Monografia Apresentada Para Conclusão do Programa de MBA de Mineração CVRD/USP.

HILÁRIO, João Augusto/ ABDALA, Tâmara/ CARVALHO, Mara Gilene Alves de/ LÚCIA, Edna, 2005.. Reconciliação: Estudo de Caso Nas Minas de Ferro de Carajás.

MORLEY, C., 2003. Beyond Reconciliation - A Proactive Approach to Using Mining. .Fifth Large Open Pit Mining Conference Kalgoorlie, WA, 3 - 5 November 2003.

CHIEREGATI, Ana Carolina. Reconciliação Pró-Ativa Em Empreendimentos Mineiros.São Paulo, 2007

PINCOCK, Hallen & Holt, 2008. 2007 Waste Rock Reconciliation of VALE's Iron Mines in Brazil Prepared for Vale, October 22, 2008.

SILVA, Reginaldo G./GOMES, Caroline J S., 2001. .Análise da Deformação na Porção Centro-Sul do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

DATAMINE LATIN AMERICA – BRASIL. Reconciliação de Lavra – VALE_DIFL-2007. Relatório Técnico, Complexo Minas de Itabiritos, 2008.

DATAMINE LATIN AMERICA – BRASIL. Reconciliação de Lavra – VALE_DIFL-2008. Relatório Técnico, Complexo Minas de Itabiritos, 2008.

[HTTP://WWW.VALE.COM.BR](http://www.vale.com.br), 2009.

VALE, Mina Fábrica, 2009.Relatórios Técnicos, Arquivos.