

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

**Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores
e massas em lavra a céu aberto**

Taís Renata Câmara

Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre

2013

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

**Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores
e massas em lavra a céu aberto**

Taís Renata Câmara

Engenheira de Minas

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia de Minas, da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Porto Alegre

2013

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Cezar Zingano

Prof. Dr. Júlio Cesar de Souza

Prof. Dra. Vanessa Cerqueira Koppe

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker

Coordenador do PPGEM

Aos meus pais, Francisco e Helena.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã, pela educação, incentivo, apoio e amor dados.

Aos professores do DEMIN, especialmente ao professor Rodrigo Peroni, pela orientação na elaboração deste trabalho.

Aos colegas Daniel Fontoura e Fabrício Pereira, pelo auxílio no desenvolvimento dos *scripts*, e à colega e amiga Sarah Guazzelli pela valiosa ajuda com o Excel.

Aos colegas e amigos do LPM, pelo companheirismo, convivência e colaborações prestadas.

À Companhia Vale Fertilizantes pela disponibilização dos dados para este estudo.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Meta	15
1.2 Objetivos específicos desta dissertação	15
1.3 Metodologia	16
1.4 Organização desta dissertação	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Conceito de reconciliação	20
2.1.1. KPI – Indicadores chave de desempenho	22
2.2. Diluição	24
2.2.1. Classificação da diluição	28
2.2.2. Unidade Seletiva de Lavra	34
2.2.3. Seletividade da lavra	36
3. RECONCILIAÇÃO	39
3.1. Estudo de caso	40
3.2. Descrição dos Procedimentos	40
3.2.1. Geração das Superfícies Topográficas	41
3.2.2. Geração do Modelo de Blocos Entre as Superfícies.....	42
3.2.3. Classificação dos Blocos de Minério e Estéril	45
3.3. Reconciliação: Análises e Resultados.....	46
3.3.1. Descrição dos Procedimentos	46
3.3.1.1. Reconciliação semestral – planos mensais	46
3.3.1.2. Reconciliação semestral – planos trimestrais	48
3.4. Indicadores Chave de Desempenho	50

4. DILUIÇÃO	55
4.1. Diluição causada pela eficiência de execução	56
4.2. Diluição em função da geometria da bancada	61
4.3. Fator de diluição	63
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
5.1. Conclusões	69
5.2. Recomendações	72
REFERÊNCIAS.....	73
Anexo A.....	77
Anexo B.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do fator de diluição.	14
Figura 2 - Metodologia utilizada na realização do trabalho.	17
Figura 3 - Esquema processo de reconciliação.....	20
Figura 4 - Perfil esquemático dos indicadores de desempenho.....	23
Figura 5 - Sequência das perdas e diluição	27
Figura 6 - Classificação da diluição.	29
Figura 7 - Bloco a ser minerado e os seis contíguos a este.	30
Figura 8 - Perfil esquemático da diluição lateral.....	30
Figura 9 - Cálculo da diluição lateral.	31
Figura 10 - Perfil esquemático da diluição vertical.....	32
Figura 11 - Arranjo tridimensional para aproximar a geometria de um depósito mineral.....	34
Figura 12 - Gráfico mostrando teores verdadeiros versus teores estimados, e um teor de corte Zc aplicado a ambos os eixos.....	37
Figura 13 - Influência de aspectos geométricos operacionais e geológicos na diluição durante a lavra.	38
Figura 14 - Topografia inicial do primeiro semestre de 2011.....	41
Figura 15 - Topografia final, primeiro semestre de 2011.....	42
Figura 16 - Seção W-E, topografias inicial e final, primeiro semestre.	42
Figura 17 - Modelo de blocos original de longo prazo, colorido de acordo com legenda classificada a partir do tipo de rocha.	43
Figura 18 - <i>Script</i> que cria modelo de blocos entre as superfícies.....	44
Figura 19 - Modelo de blocos criado entre as topografias.	45
Figura 20 - <i>Script</i> para cálculo dos KPI.	51
Figura 21 - Janela arquivo de saída do <i>script</i> de aderência, mês referência janeiro.	52
Figura 22 - Índices de planejamento.....	53
Figura 23 - Massas realizadas e planejadas.	54
Figura 24 - Metodologia utilizada para análise da diluição causada pela eficiência de execução.	57
Figura 25 - Polígonos de planejamento inseridos no modelo de blocos.	58
Figura 26 - Blocos localizados no limite de lavra.	59
Figura 27 - Posição do bloco e seus adjacentes, no plano XY.	60

Figura 28 - Diluição lateral.....	62
Figura 29 - Planilha de cálculo para o fator de diluição.....	64
Figura 30 - Fator de diluição para Abcourt-Barvue.	68
Figura 31 - Diluição geométrica para Abcourt-Barvue.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação da massa do executado, diferença entre topografias.	47
Tabela 2 - Avaliação dos teores do executado, diferença entre topografias.....	47
Tabela 3 - Aderência dos teores planejados e executados.....	47
Tabela 4 - Avaliação da tonelagem dos planos mensais, jan/jun 2011, acumulados para o período.....	48
Tabela 5 - Aderência entre tonelagem estimada com tonelagem executada.	48
Tabela 6 - Avaliação da tonelagem dos planos trimestrais 2011 (1 e 2).....	49
Tabela 7 - Avaliação dos teores do executado, diferença entre topografias.....	49
Tabela 8 - Aderência dos teores planejados e executados.....	49
Tabela 9 - Aderência entre tonelagem estimada com tonelagem executada.	50
Tabela 10 - Identificação dos blocos adjacentes.	60
Tabela 11 - Identificação dos blocos adjacentes ao bloco analisado.....	60
Tabela 12 - Quantificação da diluição, fatores condicionantes.	65
Tabela 13 - Quantificação da diluição, fatores subjetivos.....	66
Tabela 14 - Aderência entre tonelagem estimada diluída com tonelagem executada. (planos mensais).....	66
Tabela 15 - Aderência entre tonelagem estimada diluída com tonelagem executada. (planos trimestrais).....	67
Tabela 16 - Características do depósito Abcourt-Barvue.....	67

RESUMO

Em lavra a céu aberto, a diluição nem sempre é um fator analisado e calculado sistematicamente, muitas vezes é apenas um número ajustado para atender necessidades de auditorias, por exemplo. A diluição, assim como a perda, são fatores que devem ser sempre considerados nas estimativas de teores e massas para quantificação de reservas. Estes fatores andam sempre conjugados e são determinados considerando diversas particularidades do depósito (complexidade geológica, geometria do corpo de minério, dureza da rocha, etc.) e características da operação (equipamentos, geometria de cava, habilidade dos operadores, entre outros). O principal objetivo deste estudo é a determinação de um fator de diluição que possa ser utilizado no planejamento de lavra (modelo de estimativas), levando em consideração diversas particularidades do depósito e da operação, além de considerar fatores objetivos relacionados à geometria. A reconciliação pode ser definida como uma comparação entre teores e massas estimados no modelo de blocos com as medidas reais dos teores e massas produzidos, dentro de um mesmo volume. O processo de reconciliação de teor e massa entre o planejamento e o executado atua como uma maneira para verificar se o planejamento está adequado, e se não estiver, identificar onde se encontram os problemas de falta de aderência. Além de verificar a confiabilidade dos procedimentos de construção do modelo utilizado, a reconciliação permite definir medidas corretivas e priorizá-las para aproximar os resultados entre produção e o planejamento. Para saber se o fator de diluição utilizado está correto e adequado às necessidades do depósito é necessário primeiramente, saber se existe uma boa aderência na reconciliação entre planejado e executado. Com o resultado, é possível saber quais fatores estão sendo causadores de diluição e/ou perdas de minério e onde estes estão ocorrendo. O fator de diluição pode ser uma ferramenta muito positiva se aplicado de maneira correta, já que este varia a partir de diferentes etapas ao longo do planejamento de mina, influenciando áreas a serem mineradas, orçamentos, eficiência da produção e também melhora do resultado financeiro do projeto.

Palavras-chave: Reconciliação, Diluição, Perdas, Planejamento de lavra.

ABSTRACT

In open pit mining, not always the dilution is a factor analyzed and systematically calculated, often is only a number adjusted for attending the needs of audits, for example. The dilution, as well as loss, are factors that should be always considered for tonnage and grade estimates during mine planning. These factors are always associated and can be determined considering several particularities of the deposit (like geology complexity, orebody geometry, rock hardness, etc.) and the operation itself (e.g. mining equipment, pit design, experience, among others). The main objective of this study is to determine a dilution factor that can be used in mine planning (estimation model), taking into consideration those particularities of the deposit and operation, besides considering objective factors related to the geometry. Reconciliation could be defined as a comparison of predicted grade and tonnage from the block model estimates against the effective measures of mined mass and produced ore, within a block. The reconciliation process of grade and mass of planning against executed is a way to check if planning is appropriate, and if not, identify where the problems of lack of adherence are. In addition to checking the reliability of the procedures used in the block model creation, reconciliation allows one to define corrective measures and prioritize them to optimize production and planning. To understand if the dilution factor used is correct and appropriate to the needs of the deposit it is first required knowing if there is a good adherence in reconciliation between planned and executed. With the results, is possible to know which factors are causing dilution and/or losses of ore and where they are occurring. The dilution factor can become a very positive tool if better assessed, because it varies from different locations along the mine planning, influencing areas to be mined; budgets; production efficiency and also profit increase.

Keywords: Reconciliation, Dilution, Losses, Mine Planning

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Grandes empresas têm por objetivo manter o máximo controle de suas operações. Isto se deve ao fato de que quanto maior o domínio sobre as operações, menores são as incertezas e conseqüentemente os erros associados a estas. Estes erros levam ao não aproveitamento total dos recursos existentes ou conduzem a resultados não ótimos. Uma maneira de controlar estes erros associados com a variabilidade geológica consiste na reconciliação, que significa comparar quantidades e teores de minério estimados pelos modelos de blocos com as quantidades e teores de minério efetivamente lavrados. Grandes discrepâncias entre estes valores podem apontar para problemas na operação e conseqüentemente, mostrar o caminho para melhorar e minimizar estes problemas que podem afetar toda a cadeia de operações.

Muitos empreendimentos mineiros sofrem com baixas aderências na reconciliação, mesmo utilizando de bons controles de teores através de procedimentos sistemáticos de amostragem, bem como controle geológico. Um dos principais problemas que afeta a reconciliação ocorre durante o processo de lavra e acontece devido a um efeito de incorporação de massa de blocos contíguos ao bloco efetivamente minerado, esse fator é chamado diluição, que acarreta em diminuição dos valores de teores estimados. Assim sendo, controlar a diluição e traçar estratégias no planejamento para minimizar esse efeito são práticas recomendáveis para melhorar a aderência da reconciliação.

Crawford (2004), diz que diluição é comumente definida como o material estéril incorporado ao processo de extração do minério, porém existem diversos fatores incorporados a esta definição. Neste caso, é assumido que o operador conhece o local exato, o formato e o teor de um dado bloco, e o seu equipamento é capaz de minerar este bloco da maneira ideal. No entanto, existem diversas fontes de incerteza sobre a veracidade das informações acima, pois o posicionamento do equipamento por estar deslocado, o modelo geológico pode conter erros de interpretação, os teores do bloco partem de estimativas de dados dispersos espacialmente e o operador pode não ter a habilidade de selecionar os materiais visualmente no campo.

A reconciliação é a comparação das estimativas de massa e teor com as medidas efetivas e segundo Morley (2003), seus principais objetivos são: verificar o desempenho da

operação com base nas metas iniciais; dar suporte aos cálculos de ativos; validar as estimativas de recursos e reservas minerais; fornecer indicadores de desempenho para controle de planejamento de curto e longo prazo; além de contribuir com resultados que possam ser aplicados a estimativas futuras objetivando melhorar o desempenho de uma operação.

Segundo Chierigati (2007), quando a reconciliação não apresenta resultados favoráveis, isso indica a necessidade de se realizarem análises adicionais, visando a identificação das causas das variâncias observadas e permitindo a tomada de ações para corrigi-las. Por exemplo, diferenças significativas entre as estimativas do modelo de recursos e a quantidade de minério realmente produzida podem indicar que existem problemas de diversas naturezas que podem estar relacionados ao procedimento amostral, ou o critério de definição do teor de corte precisa ser reavaliado, ou ainda que o método de estimativa de teor está inadequado. Tendo sido identificada a causa do problema, o procedimento poderá ser modificado, de modo a minimizar a discrepância entre o planejado e o efetivamente realizado.

Uma reconciliação feita de maneira sistemática e eficiente poderá também destacar oportunidades de melhora no planejamento e permitir previsões de curto prazo proativas, fornecendo uma calibração confiável para estimativas críticas. O conceito se resume em “medir, controlar e melhorar” (Noppé, 2004).

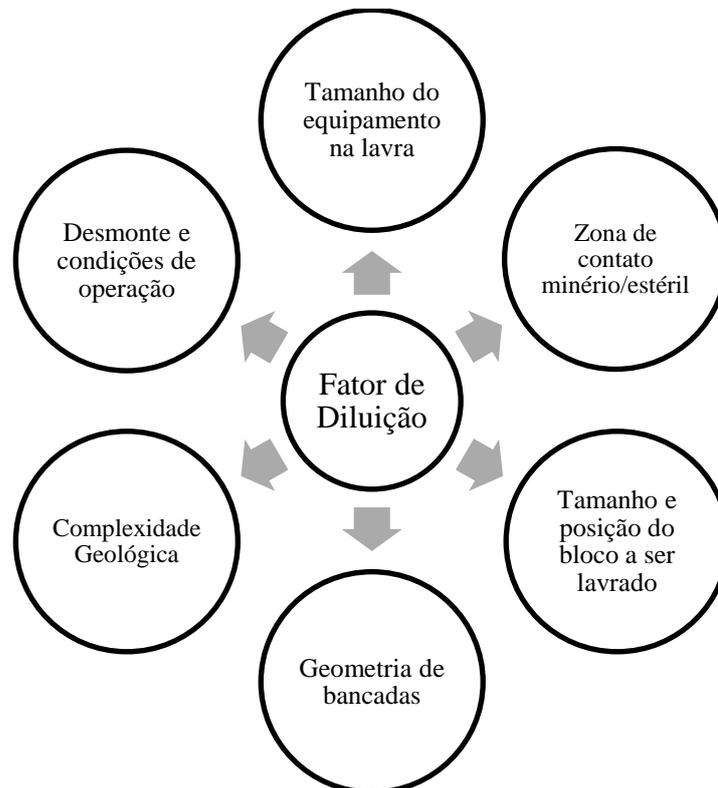
A diluição e as perdas devem ser levadas em consideração para as estimativas de teor e massa no planejamento de lavra, e estas são determinadas considerando diversas particularidades do depósito. A diluição tanto pode ser interna quanto externa; ou seja, causada por fatores intrínsecos ao depósito ou por erros cometidos durante a operação. Segundo Crawford (2004), existem quatro categorias de diluição: a primeira é um fator de correção de diluição que é aplicado às estimativas para encontrar o valor produzido pela planta. A segunda é a diluição externa, causada no momento da lavra, onde a seletividade não é bem executada. A terceira categoria é a diluição interna, quando o minério não pode ser separado fisicamente do estéril devido a características do depósito. A última categoria é a diluição causada por erros de classificação ou execução no processo de lavra.

Para encontrar o fator de diluição, é necessário saber se a reconciliação entre planejado e executado está com uma boa aderência. Para tanto, comparações entre tonelagem e teores do modelo de blocos com o efetivamente lavrado devem ser feitas. Com o resultado da aderência entre os dois processos, é possível saber onde são encontrados os possíveis fatores geradores

de diluição (Figura 1). A diluição ocorre devido a características do depósito e características da operação de lavra. Estas quantidades de estéril incorporado ao minério – ou de minério perdido – podem ser mensuradas através de estimativas ou baseadas em valores observados em outros depósitos com características semelhantes. Usualmente, as empresas não utilizam deste controle para determinar a diluição do depósito, e acabam por assumir valores arbitrários, o que faz com que erros de maior significância sejam incorporados ao projeto.

A diluição influencia na seletividade da mina uma vez que depende do equipamento utilizado na lavra, do método de desmonte utilizado, bem como na regularidade das zonas de contato entre minério e estéril (Jara et al. 2006). A Figura 1 apresenta a relação de dependência entre o fator de diluição e os fatores geradores.

Figura 1 - Esquema do fator de diluição.



Identificar a fonte de diluição muitas vezes não é uma tarefa fácil. Depois de identificada, deve ser analisada com cuidado e frequentemente verificada. O fator de diluição aplicado às estimativas (modelo de teores) se torna uma ferramenta muito positiva no controle de práticas de reconciliação, pois auxilia a encontrar quais são os gargalos que levam à baixa reconciliação e de pouca qualidade.

Na grande maioria dos depósitos lavrados a céu aberto a diluição é simplesmente abordada como um fator de correção sem a devida abordagem sistemática e entendimento de causa e efeito a partir dos fatores geradores desse elemento que possui impacto significativo dentro de um processo de controle de produção (reconciliação). Tipicamente é adotado um valor constante de diluição que em algumas situações de longo prazo até pode ser suficiente, mas que geralmente produz resultados que não correspondem à realidade do depósito. A utilização de um valor de diluição baseado nas características específicas de determinado depósito mineral auxilia na resolução deste problema, já que este valor não é inferido, mas sim calculado.

1.1 Meta

Abordar de forma pragmática os aspectos envolvidos nos procedimentos de determinação da diluição para construção de um procedimento sistemático para obtenção de um fator de diluição baseado em características particulares de um depósito mineral em lavra a céu aberto.

1.2 Objetivos específicos desta dissertação

O projeto de dissertação de mestrado tem por objetivo determinar um fator de diluição que possa ser utilizado no planejamento de lavra (aplicado ao modelo de blocos), levando em consideração diversas particularidades do depósito. Para a determinação deste fator, será feita a reconciliação de teor e massa entre o planejamento de longo prazo e o executado. A reconciliação é um passo importante para encontrar um fator de diluição adequado a ser utilizado no planejamento de lavra. Além disso, também serão consideradas outras características intrínsecas ao depósito estudado e de operação.

A proposta da dissertação envolve ainda a implantação da metodologia através da elaboração de uma rotina através de linguagem de *script* que possa ser utilizada no planejamento de lavra incorporando a diluição que o minério está submetido. A utilização de *scripts* como ferramenta para automatizar os processos de reconciliação e incorporação da diluição no modelo de estimativas se mostra muito eficiente, pois uma vez que são definidos

os passos do processo, a automatização destes os torna muito mais rápidos e também auditáveis. O fator de diluição é importante para que as perdas ou incorporações de estéril ao minério não impactem de forma significativa o planejamento, assim, melhorando a reconciliação de massas e teores e aderência entre o planejado e o executado.

Através da aplicação da metodologia em um depósito de fosfato localizado no estado de Minas Gerais, esta dissertação propõe atingir a sua meta cumprindo os seguintes objetivos específicos:

- i. Desenvolver uma rotina para implantação e automatização do processo de reconciliação na lavra;
- ii. Realizar reconciliação entre a tonelagem e teores previstos no planejamento de lavra e a quantidade de material efetivamente lavrado;
- iii. Analisar onde se encontram os problemas de falta de aderência na reconciliação e como estes influenciam na diluição e nas perdas;
- iv. Desenvolver uma rotina para incorporar o fator de diluição ao planejamento de lavra, de maneira que este seja representativo no cálculo das tonelagens e teores previstos.

1.3 Metodologia

A fundamentação teórica é feita através da revisão bibliográfica dos tópicos de reconciliação, diluição e perdas de minério na lavra, os conceitos chave no desenvolvimento da dissertação. São mostrados os diferentes tipos de reconciliação, diluição e perdas, onde estes normalmente ocorrem e no caso da diluição e perdas, quais são as medidas que podem ser tomadas para evitá-las.

A primeira etapa para o desenvolvimento da metodologia é a identificação e a determinação da relevância de todos os aspectos que possam influenciar nas questões de diluição e perdas na lavra. Identificar e atribuir diferentes graus de significância permite que seja criada uma abordagem genérica para aplicação em diferentes tipos de depósitos operados com diferentes métodos e equipamentos.

A implantação da metodologia é feita através da criação de rotinas na forma de *scripts*, demonstrando quais processos estão envolvidos e os resultados encontrados. Estes *scripts* têm a função de automatizar operações a serem utilizadas no planejamento e facilitar sua aplicação. O uso de *scripts* torna a reconciliação um processo padronizado, mais rápido e

também com grande confiabilidade e rastreabilidade, uma vez que os resultados podem ser reproduzidos quando necessário.

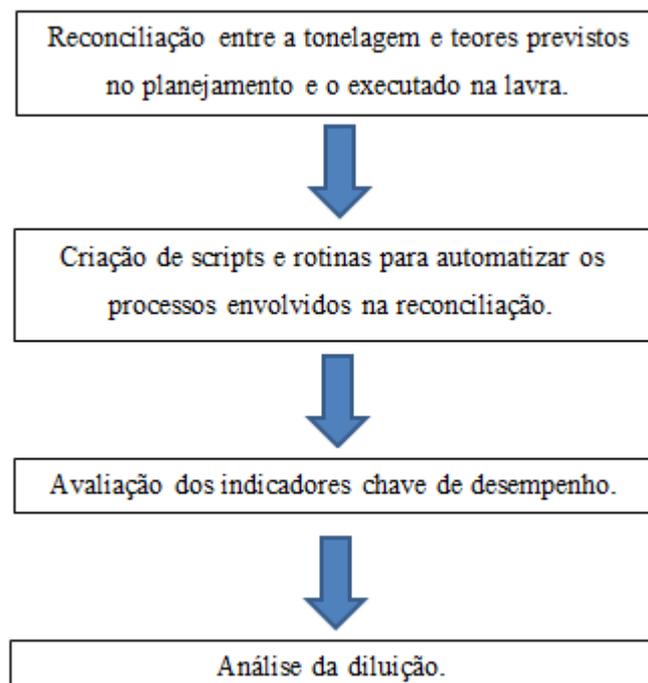
Por intermédio da aplicação da metodologia a um estudo de caso, os resultados obtidos são analisados através de planilhas e comparados com os modelos do planejamento de mina da empresa. Para tanto, foram realizadas análise e revisão do banco de dados e arquivos fornecidos pela empresa, fazendo uma separação de quais destes são necessários para criação dos modelos a serem avaliados.

A rotina de cálculo do fator de diluição é construída baseada em características intrínsecas ao depósito estudado, bem como em questões operacionais e de lavra; esta rotina será utilizada para prever um fator de diluição para o depósito antes de este ser minerado, e para que não seja aplicado um fator qualquer no planejamento da lavra e o envio do minério para a usina.

Ao final do trabalho, foi feita uma proposta de metodologia para o processo de reconciliação de maneira sistematizada, onde o fator de diluição calculado seja incorporado ao planejamento de lavra, completando os objetivos da dissertação.

A metodologia do trabalho pode ser esquematizada conforme mostra a Figura 2:

Figura 2 - Metodologia utilizada na realização do trabalho.



1.4 Organização desta dissertação

Os capítulos seguintes dessa dissertação estão organizados da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos conceitos de reconciliação, diluição e perdas de minério na lavra. Estes são conceitos de extrema importância para a compreensão dos conteúdos fundamentais, uma vez que é a partir destes que o trabalho é construído. Na parte da reconciliação serão mostradas quais as vantagens de controlar a reconciliação e ressaltar a importância da utilização de indicadores de desempenho para melhorar todo o processo de planejamento; na revisão bibliográfica referente à diluição e perdas, os diferentes tipos de diluição serão mostrados, exemplificando quais podem ser controlados e qual sua influência no planejamento de lavra.

O Capítulo 3 revisa o método de reconciliação de lavra e demonstra a construção e implantação de uma rotina para este processo. Primeiramente, os dados necessários para a construção do *script* são apresentados; em seguida as etapas de geração do *script* são demonstradas; e por fim, são relatados os resultados obtidos.

O Capítulo 4 revisa os conceitos de diluição e perdas de minério no processo de lavra. O estudo de caso é apresentado neste capítulo, onde os fatores de maior influência na diluição serão utilizados para a construção de uma rotina de determinação de um fator de diluição, de acordo com as características do depósito e de operação, além da análise da diluição causada por fatores geométricos. É feita a análise dos resultados e a comparação com as estimativas previamente fornecidas.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As práticas de reconciliação consistem na comparação entre as massas e teores de minério estimados pelos modelos da jazida e as massas e teores de minério lavrados e após, beneficiados na usina. Grandes discrepâncias entre esses valores são um problema comum em diversos empreendimentos mineiros, fazendo-se necessária a adoção de estratégias que minimizem esse problema.

Essencialmente, reconciliação é o processo de identificar, analisar e gerenciar as variações entre dados planejados e resultados reais, de modo a destacar oportunidades. Estas oportunidades incluem: metodologias para gerar melhores estimativas; melhorar o *design*; melhorar técnicas para minimizar diluição e perdas; e identificar maneiras para aumentar a recuperação de minério durante o processo de extração. (Riske et al, 2010).

Deve ser assegurado na reconciliação que a comparação seja feita de maneira correta, ou seja, as estimativas feitas para determinado material serão comparadas com as medidas disponíveis para este mesmo material. Esta e outras medidas de controle devem ser realizadas para garantir que a reconciliação não apresente muitos erros. A reconciliação pode ser realizada entre diferentes áreas como: modelo de estimativas x produção (lavra), planejamento de curto prazo x planejamento de longo prazo, produção (lavra) x produção (usina), etc. Conforme Wetherelt & Wielen (2011), diferenças entre a produção da lavra e a produção da usina servem para indicar problemas na lavra ou no beneficiamento, podem ser fruto da falta de comunicação entre os diferentes departamentos da mina, de erros de amostragem, de erros no laboratório, de erros no modelo geoestatístico, entre outros.

Um dos desafios que os profissionais da mineração mais se deparam, e talvez um dos mais antigos, é a diluição. A diluição agrega material sem valor ao minério e a perda descarta minério junto ao estéril. Segundo Crawford (2004), para que a diluição seja definida apenas como estéril incorporado ao minério durante a extração é necessário assumir que o operador conhece precisamente o local, tamanho e teores do bloco a ser lavado e que o equipamento da operação é capaz de minerar em tais condições. Sendo assim, Jara et al. (2006) dizem que a diluição é dependente do equipamento utilizado na lavra, do desmonte da rocha, das condições operacionais, bem como da regularidade do contato entre minério e estéril (este

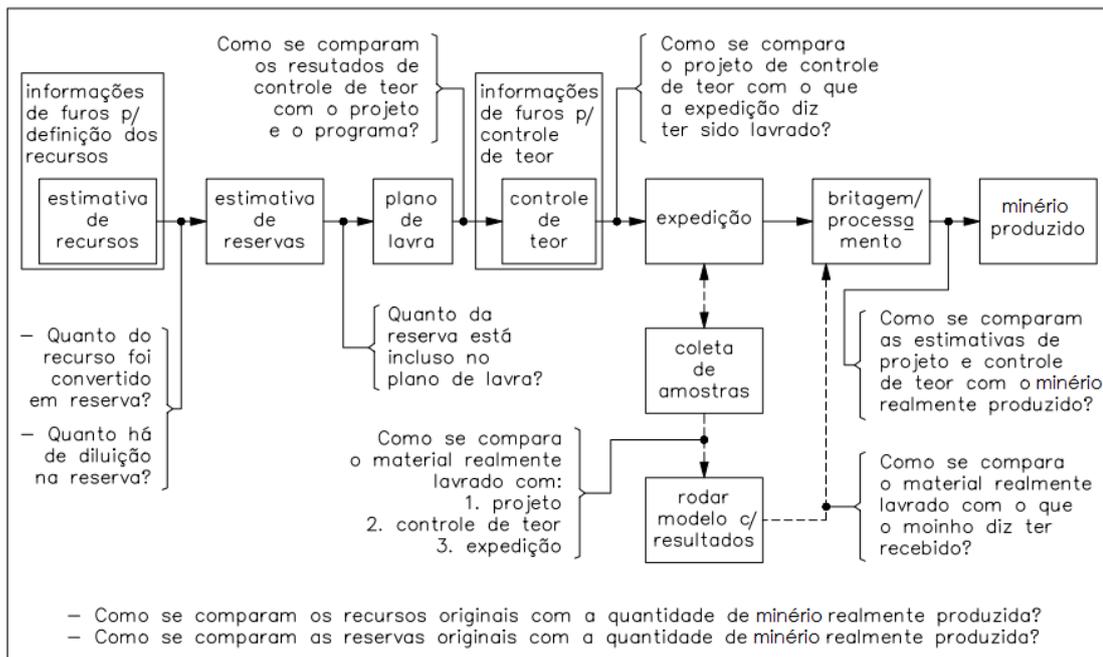
último fator se refere à precisão com que o operador pode separar o estéril do minério). O controle da diluição através das práticas de reconciliação é bastante importante, uma vez que utilizando um fator de diluição no modelo de teores é possível prever valores mais próximos da realidade nas estimativas.

2.1. Conceito de reconciliação

A reconciliação pode ser definida como a comparação das estimativas de massa e teor originárias de um modelo de blocos com medidas efetivas advindas da produção, da lavra. Segundo Morley (2003), a reconciliação tem como objetivos verificar o desempenho da operação, dar suporte aos cálculos de ativos, validar as estimativas de recursos e reservas minerais, fornecer indicadores de desempenho para controle de planejamento de curto e longo prazo, entre outros.

Morley & Thompson (2006), dizem que quando monitorado de maneira sistemática, o processo de reconciliação irá descobrir problemas de estimativas de teores e massa, amostragem, métodos de lavra, no processo e uma série de outros problemas técnicos. Estes podem ser então analisados e melhoras no processo podem ser aplicadas para resolvê-los. A Figura 3 mostra uma relação de todas as etapas envolvidas na reconciliação.

Figura 3 - Esquema processo de reconciliação.



Para cada uma destas perguntas mostradas na Figura 3 existe uma resposta que pode ser favorável ou não, o que indica que devem ser feitas análises adicionais para cada etapa particularmente.

De acordo com Blucher (2002), o processo de reconciliação não é um processo único que funciona de uma maneira uniforme, em espaços de tempo bem definidos. No decorrer das etapas para realizar a reconciliação, o processo pode consistir em um número variável de subprocessos.

Estudos sistemáticos de reconciliação fornecem a validação do modelo final com o efetivamente realizado e também fornecem um meio de monitorar a qualidade da estimativa das reservas de minério produzida a partir de dados de exploração para o estudo de viabilidade e para estimativa de controle de teores. Os estudos podem ser designados para investigar dados de entrada (qualidade da amostragem, entrada da base de dados, etc.), modelagem de reservas e estimativa (interpretação geológica, metodologia de interpolação de teores, etc.) e verificar o modelo final de reservas de minério (comparação entre diferentes modelos, etc.) (Dominy & Noppé, 2004).

De acordo com Gilfilan & Levy (2001), a reconciliação envolve a comparação entre massas e teores de qualquer um dos seguintes itens:

- Estimativa de recursos;
- Estimativa de reservas;
- Estimativas do controle de teores a médio prazo (para recursos in situ ou reservas lavráveis);
- Produção lavrada depositada em pilhas de minério (estoque) e/ou levada para a próxima etapa de produção;
- Produção depois de lavrada e circuito do minério.

Blucher (2002) também demonstra as dificuldades encontradas no processo de reconciliação quando diz que este é muitas vezes considerado como sendo muito difícil de ser executado da maneira correta e recai para um simples processo de fazer a divisão do total de minério produzido no período na proporção da alimentação total do moinho durante o período medido. As razões dadas para esta complexidade percebida podem ter algumas justificativas, tais como: grande número de variáveis para gerenciar; falta de experiência de campo; e por

fim, falta de conhecimento de como uma abordagem rigorosa para a reconciliação pode beneficiar toda a operação.

Fundamental para o sucesso de qualquer reconciliação é uma boa coleta de dados. Normalmente, os dados podem ser obtidos a partir de:

- Amostras de frente de lavra que suportam a qualidade dos modelos de recursos e reservas;
- Observações de levantamentos das atividades da mineração atuais;
- Fontes da planta de alimentação, como amostradores;
- Indicadores de desempenho da planta, como consumo energia de britagem, descarga de ciclones;
- Balanço de massa da planta; entre outros.

2.1.1. KPI – Indicadores chave de desempenho

As informações obtidas a partir de um sistema de reconciliação fornecem indicadores fundamentais para o desempenho das operações e são muitas vezes negligenciadas como um indicador chave de desempenho no desenvolvimento no planejamento de mina (Blucher, 2002).

Empresas de mineração utilizam os fatores de reconciliação como indicadores de desempenho, ou KPI (do inglês, *key performance indicators*), para fornecer um exame de suas operações, onde as variações frequentemente indicam problemas com a precisão da estimativa original bem como com a qualidade das medidas a serem utilizadas na comparação (Fouet et al., 2009).

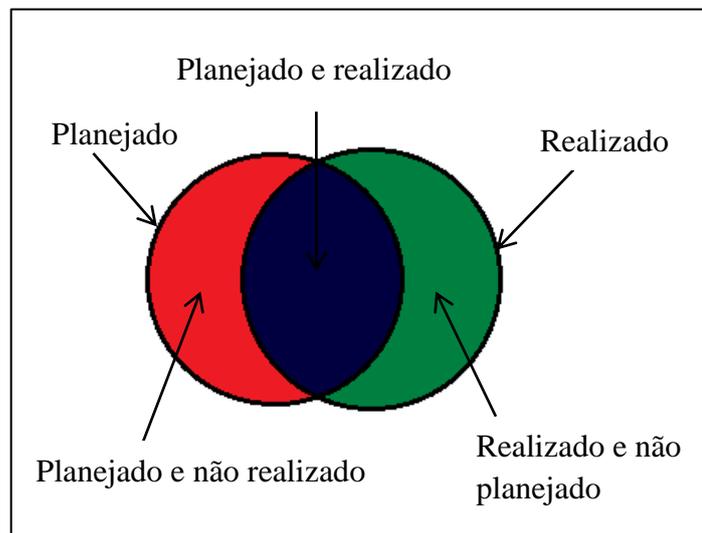
Os indicadores de desempenho ajudam a definir e medir o progresso direcionado aos objetivos da empresa. Podem ser definidos como medidas quantificáveis, pré-definidas, que refletem os fatores críticos de sucesso de uma organização. Os KPIs vão ser diferentes dependendo dos objetivos de cada empresa.

Segundo Parreira et al (2009), indicadores chave de desempenho devem ser monitorados continuamente e também devem ser de fácil entendimento. Eles fornecem uma comparação ao longo do tempo para todos os indicadores. Os KPIs permitem o controle do antes e do depois da implantação destes, proporcionando uma oportunidade de tomar decisões

informadas e fazer as alterações necessárias. KPIs novos podem ser criados para atender às necessidades ajustadas do sistema atualizado. Desta forma, a tecnologia automatizada e os indicadores chave de desempenho melhoram a gestão de tomada de decisão, um aspecto importante para garantir que uma empresa está no caminho do desenvolvimento sustentável.

A escolha dos indicadores de desempenho é feita de acordo com o objetivo que a empresa deseja alcançar. No caso deste estudo, foram escolhidos índices de controle da efetividade de lavra, através dos quais é possível controlar a aderência e cumprimento do planejamento com as quantidades de minério efetivamente lavradas conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Perfil esquemático dos indicadores de desempenho.



O índice de aderência (Equação 1) é obtido através da divisão da quantidade de massa total planejada e realizada (PR) pelo total realizado no período (somatório da massa total planejada e realizada (PR) com a massa total realizada e não planejada (RNP)). Este índice mede a porcentagem da lavra programada que foi realizada em função do realizado total, ou seja, mede a porcentagem de material lavrado que estava dentro do plano. Este índice refere-se ao desvio da operação de lavra.

$$IA = \frac{PR}{(PR+RNP)} \times 100 \quad (1)$$

O índice de cumprimento (Equação 2) refere-se à operacionalidade do plano. É obtido através da divisão da quantidade de massa total planejada e realizada (PR) pelo total planejado no período (somatório da massa total planejada e realizada (PR) com a massa total planejada e não realizada (PNR)). Este índice mede a porcentagem da lavra programada que

foi realizada em função do que foi planejado, isto é, mede quanto do total planejado foi efetivamente executado.

$$IC = \frac{PR}{(PR+PNR)} \times 100 \quad (2)$$

A efetividade de lavra (Equação 3) pode ser medida através da média aritmética do índice de aderência com o índice de cumprimento.

$$IE = \frac{(IA+IC)}{2} \times 100 \quad (3)$$

As equações 1, 2 e 3 demonstram o cálculo destes fatores, onde:

- PR: Planejado e realizado;
- RNP: Realizado e não planejado;
- PNR: Planejado e não realizado.
- IA: Índice de aderência;
- IC: Índice de cumprimento;
- IE: Índice de efetividade de lavra.

Existem falhas na noção de que os KPIs são uma ferramenta de medição de desempenho eficaz e que as ações com base em seus resultados podem ajudar uma organização a atingir o status desejado, sem nenhum erro. Tomlinsong (2006) fala que os KPIs são úteis para revelar uma tendência para a realização de uma meta de desempenho. No entanto, os dados de campo em que os índices são muitas vezes baseados são desenvolvidos e apresentados pelas mesmas pessoas que estão sendo avaliadas. É importante ressaltar que para que os KPIs possam ser utilizados de maneira confiável, deve ser feita uma verificação constante da validade dos dados.

2.2. Diluição

Crawford (2004), diz que a diluição pode ser dividida em quatro categorias: a primeira é o chamado “*mine call factor*”, o qual é um fator de correção aplicado às estimativas/produção da lavra para que chegue aos valores reportados pela usina. O segundo

fator é a diluição externa, quando material de baixo valor (estéril) é lavrado juntamente com o minério, não intencionalmente. Já a diluição interna, o terceiro fator, é quando o estéril é impregnado no minério, onde a separação física é impraticável. Por fim, o último fator é chamado de “diluição de Murphy”, a qual é causada devido a erros na mineração, como erros operacionais ou de planejamento.

Cada uma dessas categorias citadas anteriormente influencia de alguma maneira na composição da diluição total. Há ainda outra definição dada pela Gerência de Geologia e Planejamento de Longo Prazo de Cobre - Vale (2010), que divide a diluição em dois tipos: diluição *in situ* e diluição na lavra. A primeira é definida como a incapacidade de seletividade do minério com relação ao estéril, devido a uma restrição operacional geométrica do corpo de minério e fatores geométricos de lavra, sendo agregado ao processo de planejamento e execução da lavra certa quantidade de massa de estéril não prevista no modelo; a diluição na lavra pode ser explicada como a capacidade operacional e de seletividade com relação aos processos físicos operacionais vigentes e configuração geométrica do material estéril e minério, com os equipamentos disponíveis.

A diluição na lavra pode ser definida como a perda e/ou ganho de minério durante o processo de lavra devido à falta de seletividade ou inadequada configuração operacional. Os fatores que geram diluição são diversos e alguns são citados a seguir:

- Natureza dos contatos e limites do minério;
- Zonas de limite de cava;
- Tamanho e posição de bloco;
- Densidade amostral;
- Complexidade geológica;
- Seletividade da lavra, tamanho de equipamento;
- Método de lavra e tipo de desmonte de rocha, etc.

Diluição e perdas podem ocorrer durante todos os estágios da mineração. Enquanto diversos modelos investigam a influência da diluição, é a quantificação da diluição que apresenta o maior desafio (Pakalnis, Poulin, & Hadjigeorgiou, 1988). Muitas vezes, é impossível eliminar todo o estéril presente no minério, o qual está sendo diluído. Contudo, segundo Butcher (2000), a diluição pode ser controlada em níveis aceitáveis, através da implantação de princípios de engenharia de minas corretos.

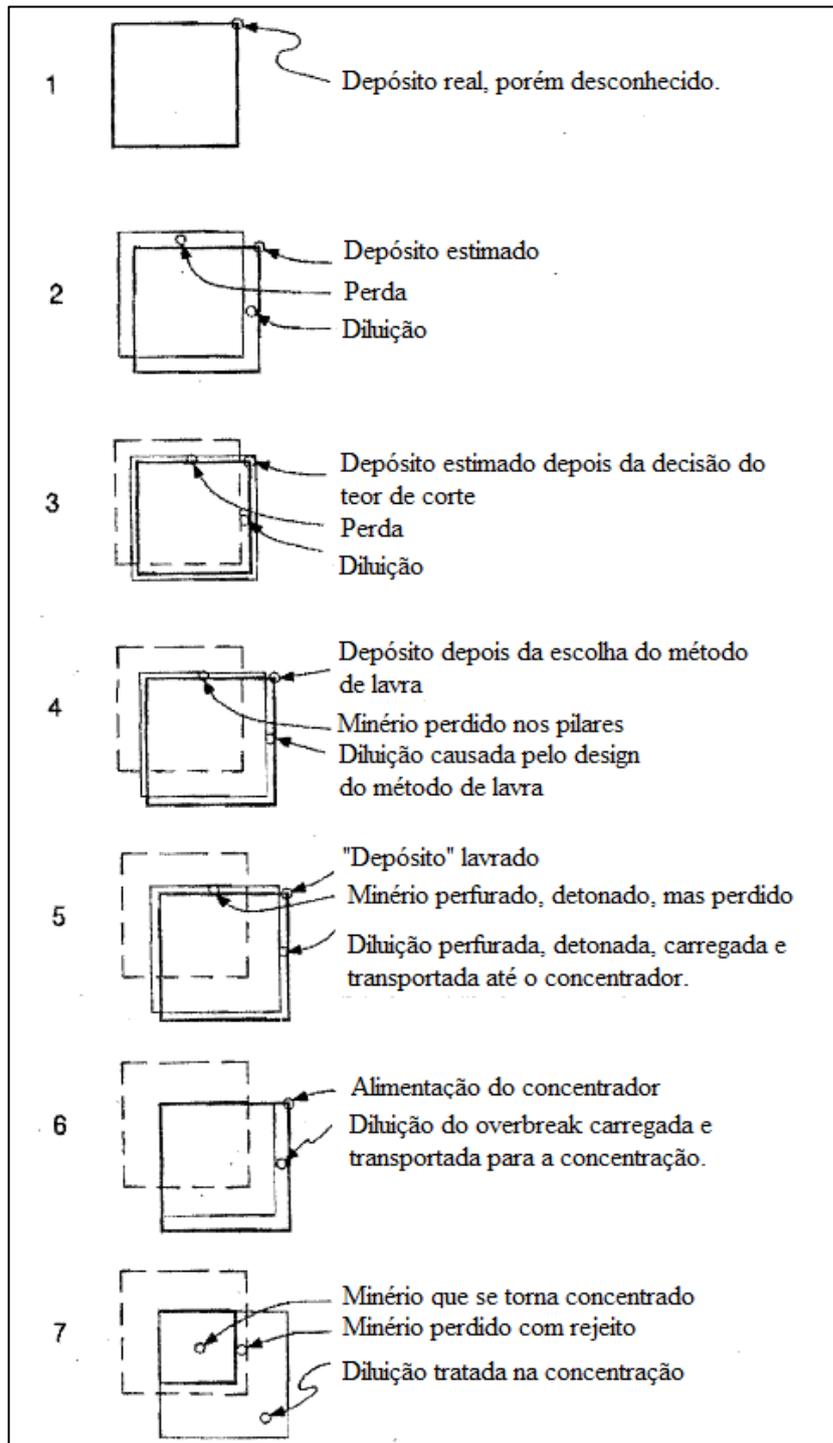
Devido a uma variedade de incertezas, a inevitáveis faltas de precisão na estimativa de depósitos e no planejamento de lavra, e também devido a restrições de produção, diluição e perdas ocorrem durante muitas fases do projeto. Segundo Elbrond (1994), tais fases variam desde a definição geológica do corpo de minério, até a otimização e definição do teor de corte, também passando pelo método de lavra ao beneficiamento do minério, onde ocorre a perda de minério no estéril. A quantificação da diluição e das perdas é bastante difícil, quando não são impossíveis de obter.

Na fase final do projeto, uma estimativa da diluição total pode ser obtida com algum grau de precisão através de observações de análises da quantidade de concentrado e rejeitos. É muito mais difícil estimar as perdas totais devido à incerteza do modelo geológico na fase inicial, e na fase de lavra é difícil também de quantificá-las, apesar da utilização da geoestatística na estimativa de teores.

Na lavra subterrânea, a diluição e as perdas são itens que são melhores controlados e planejados, comparando com o controle destes mesmos itens em lavra a céu aberto. Isto ocorre porque geralmente, os métodos de lavra subterrânea são mais seletivos do que em lavra a céu aberto, então a diluição pode ser melhor controlada. Pakalnis, Poulin, & Hadjigeorgiou (1988) dizem que a diluição excessiva foi um fator de peso no fechamento de diversas minas no Canadá. O valor para definir uma diluição como excessiva ou aceitável irá variar de acordo com cada mina; o que deve prevalecer é que os valores de diluição em lavra a céu aberto devem ser menores do que os valores de diluição em lavra subterrânea, devido às condições de operação e método de lavra apresentarem maiores dificuldades na mineração subterrânea.

A Figura 5 mostra a sequência da diluição nas diferentes fases de um projeto, segundo Elbrond (1994). No caso deste exemplo, está sendo considerado um método de lavra subterrâneo, porém a diluição também está presente em diversas etapas operacionais e de produção que utilizam método de lavra a céu aberto.

Figura 5 - Sequência das perdas e diluição



Fonte: Modificado de Elbrond, (1994).

Muitas tentativas de quantificar as perdas e a diluição já foram feitas. Exemplos mostram que a diluição e as perdas são bastante significativas e apresentam efeitos consideráveis nos resultados econômicos da operação de minas. Perdas se referem principalmente a impactos negativos no faturamento, quando parte do minério planejado

deixa de ser lavrada e diluição influencia num aumento nos custos operacionais na lavra e beneficiamento pelo aumento da quantidade de material estéril processado junto com o minério. Vida útil, valor presente líquido, custo de produção do minério, entre outros aspectos, são todos afetados pela incorporação de material estéril que é lavrado e enviado de forma equivocada ao processo.

2.2.1. Classificação da diluição

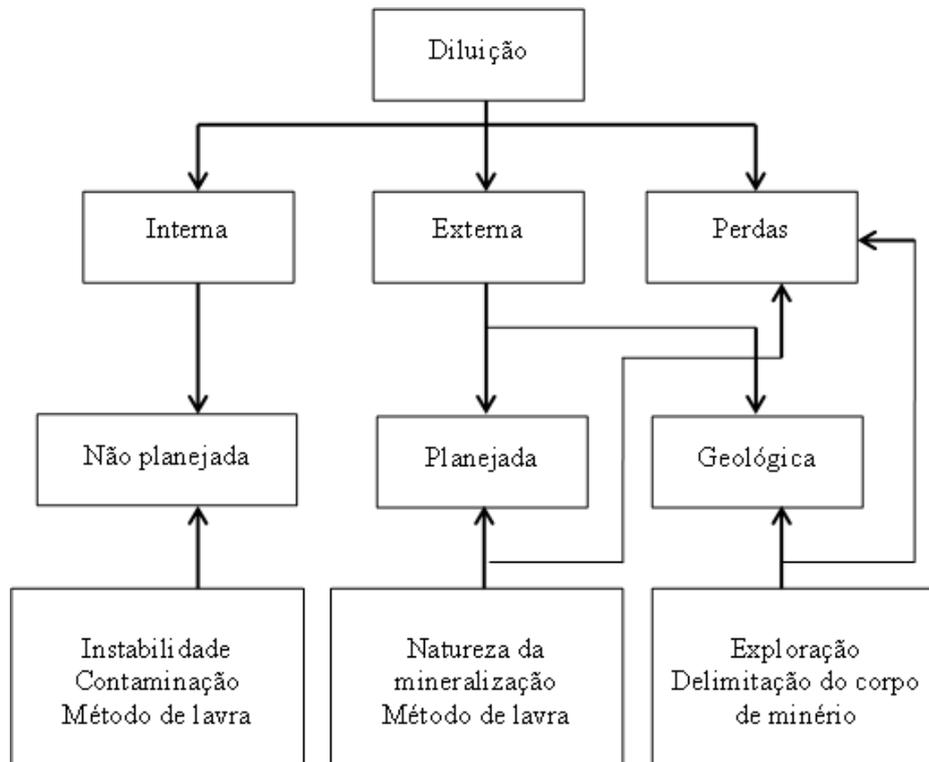
Segundo Villaescusa (1998), a diluição pode ser classificada em três categorias: diluição interna, diluição externa e perdas de minério (Figura 6). A diluição interna geralmente se refere ao material de baixo teor contido dentro do material lavrado considerado como minério. Esta pode ser causada devido a uma delimitação insuficiente dos limites entre minério e estéril ou também quando a lavra não consegue separar precisamente o contato, no momento da extração. Para David e Toh (1989), a diluição interna pode ser analisada sob a perspectiva da geoestatística. As principais causas da diluição interna citadas por estes autores são:

- Tamanho da unidade seletiva de lavra (SMU);
- Densidade amostral;
- Pequena escala de continuidade do minério;

A diluição externa é função do método de lavra escolhido, bem como da irregularidade do contato da rocha minério com o estéril e o seu grau de influência será dependente de quão abrupta será a mudança de teores no contato. Por exemplo, se o contato entre as rochas for gradual e a rocha do contato apresentar um teor semelhante ao do minério, a diferença será pequena no momento que o equipamento de lavra incorporar alguma quantidade da rocha de contato durante a lavra.

Na definição de perdas de minério, Villaescusa (1998) classifica estas como o material econômico que deixa de ser minerado devido a condições de lavra e operação. A Figura 6 mostra a classificação da diluição adotada por Villaescusa.

Figura 6 - Classificação da diluição.



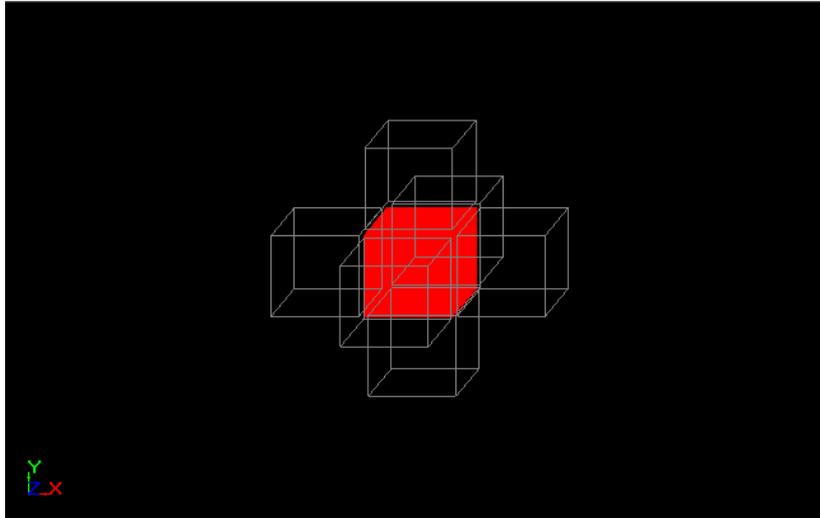
Fonte: Modificado de Villaescusa, 1998.

A diluição pode ser interna ou externa ao minério; as duas categorias podem ser subdivididas baseadas em considerações geométricas do depósito ou do material diluído. Sinclair & Blackwell (2004) dizem que a diluição externa envolve fatores como largura mínima de mineração, diluição de contato e *overbreak* de material da rocha encaixante nos limites da lavra. Diluição interna pode ser considerada da perspectiva do volume de estéril dentro da zona de minério ou do efeito da diluição inerente ao processo de aumentar a unidade seletiva de lavra (SMU) como também do efeito de má classificação de blocos decorrentes de erros analíticos e de amostragem que ocorrem no controle de teores.

A diluição externa também pode ser proveniente do tamanho e da posição do bloco a ser minerado. Cada um dos seis blocos contíguos ao bloco original influencia com um tipo de diluição, esta podendo ser lateral ou vertical (Figura 7). Se o bloco a ser minerado estiver em contato com blocos que não sejam de minério (ou estes sejam de minério de baixo teor), a diluição vai ocorrer devido ao contato. O bloco dificilmente poderá ser retirado sem que alguma parte dos blocos laterais seja incorporada a ele. Também deve ser considerado o fato de que o operador deve ter total controle de posicionamento, além de que o equipamento

selecionado para a extração do bloco seja dimensionado de maneira adequada, minimizando assim o erro.

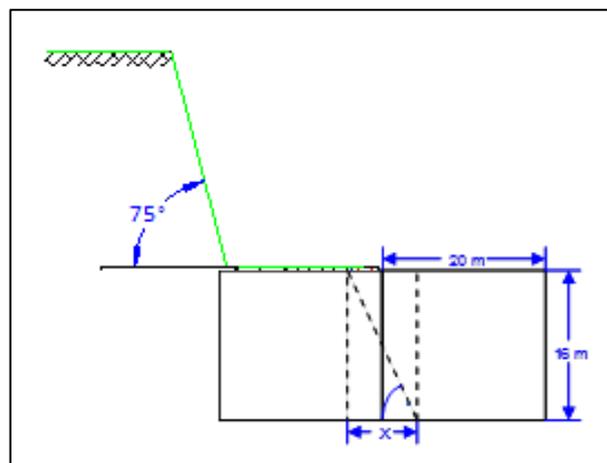
Figura 7 - Bloco a ser minerado e os seis contíguos a este.



Fonte: Studio 3.

A diluição lateral é produzida pelo bloco em questão e os quatro que o cercam horizontalmente. Quando um modelo de blocos é gerado com as estimativas, o resultado geralmente vem em forma de blocos com dimensões x , y e z ortogonais, sem nenhum tipo de inclinação. Porém, no momento da configuração da cava, com a imposição das condições de estabilidade do maciço, deve ser considerado o ângulo de face da bancada. As perdas e diluições variam de acordo com este fator. A Figura 8 apresenta um exemplo numérico de quanto representa a diluição (ou perda) quando os aspectos geométricos de projeto de cava são superpostos ao modelo de blocos

Figura 8 - Perfil esquemático da diluição lateral.



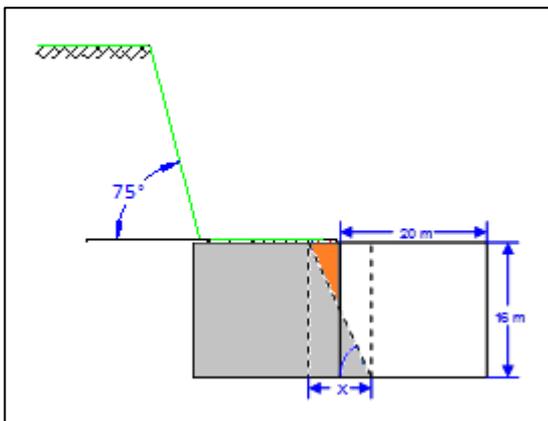
A quantidade de material perdido e diluído verticalmente será determinada pelo ângulo de face da bancada. O valor da diluição pode ser calculado por trigonometria, como mostra o exemplo da Figura 9. Por exemplo, para um ângulo de face de bancada de 75° e uma altura de bancada de 16 m, a diluição lateral produzida será em torno de 2 metros, para cada contato, por bloco. A Figura 9 mostra que a real área lavrada será a área em cinza, enquanto que a parte em laranja será correspondente à perda de minério planejado.

Ângulo de face = 75°

Altura do bloco = 16 m

Largura do bloco = 20 m

Figura 9 - Cálculo da diluição lateral.



$$\tan 75^\circ = \frac{16}{x}$$

$$x = \frac{16}{\tan 75^\circ}$$

$$x = 4,28$$

$$\frac{x}{2} = \frac{4,28}{2}$$

$$\frac{x}{2} = 2,14 \approx 2$$

Utilizando os mesmos valores para altura e largura de bloco, e diminuindo o ângulo de face de bancada para 65° , a diluição encontrada seria praticamente o dobro.

$$\tan 65^\circ = \frac{16}{x}$$

$$x = \frac{16}{\tan 65^\circ}$$

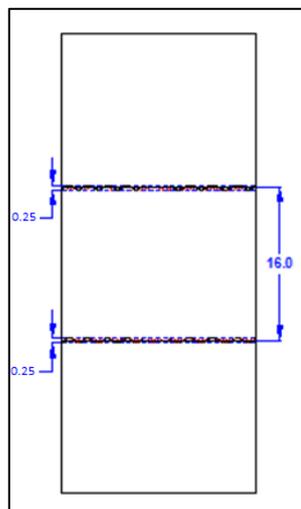
$$x = 7,46$$

$$\frac{x}{2} = \frac{7,46}{2}$$

$$x = 3,73 \approx 3,7 \text{ m}$$

Já a diluição vertical, é produzida pelos blocos que se encontram acima e abaixo do bloco analisado (Figura 10). As perdas e diluições são determinadas pelo controle operacional dos equipamentos e pela quantidade de material que é escavado acima ou abaixo da bancada. Deve ser levado em consideração que esta diluição vai ocorrer quando o tipo de desmonte for mecânico, já que se for utilizado desmonte por explosivos, esta diluição poderá ser minimizada com perfuração vertical entre os contatos. No exemplo, foi assumido para o controle de elevação da bancada 0,5 m (total) ou 0,25 m, em média, em qualquer direção.

Figura 10 - Perfil esquemático da diluição vertical.



Considerando as dimensões do bloco citadas no exemplo anterior, um cálculo simples para determinar a diluição vertical pode ser feito:

Altura do bloco = 16 m

Largura do bloco = 20 m

Comprimento do bloco = 20 m

Densidade = 3 t/m³

$$\text{Massa total do bloco} = 20 \times 20 \times 16 \times 3$$

$$\text{Massa total do bloco} = 19200 \text{ t}$$

Controle de bancadas = 0,5 m

$$\text{Massa perdida} = 20 \times 20 \times 0,5 \times 3$$

$$\text{Massa perdida} = 600 \text{ t}$$

Esta quantidade que deixa de ser lavrada corresponde a aproximadamente 3% de diluição vertical, em média. Se o contato entre os blocos for minério/minério ou estéril/estéril, este fato não será causador de problemas, porém se o contato for minério/ estéril (ou vice-versa), isto acarretará em diluição ou perda de minério. A influência do tipo de equipamento e controle de praça neste tipo de situação é bastante grande, uma vez que: se o equipamento não estiver dimensionado de acordo com o tamanho do bloco ou com a seletividade desejada para lavar o depósito, este poderá escavar mais material do que o deveria (provocando diluição), ou escavar menos material, provocando perdas.

A diluição interna pode ser também chamada de diluição in situ; tecnicamente representa a “incapacidade” de seletividade do minério com relação ao estéril, devido a uma restrição inerente à forma como se apresenta o corpo mineral e fatores geométricos impostos pelo método e equipamentos de lavra, sendo agregada ao processo de planejamento e execução da lavra certa quantidade de massa de estéril não prevista no modelo. A diluição é considerada in situ, pois está associada ao processo, onde não houve a seletividade suficiente para que fosse realizada a separação plena do material estéril e este se encontra incorporado na massa de minério.

A diluição de lavra é definida então como a capacidade operacional de separar de forma eficiente considerando os processos físicos operacionais vigentes e configuração geométrica do material estéril e minério no local da lavra com os equipamentos disponíveis.

Perdas e diluição são fatores que são responsáveis por graves discrepâncias no resultado econômico de uma mina, pois aumentam o custo de produção e reduzem a quantidade de minério tendo impacto no valor presente líquido do depósito; influenciam diretamente no faturamento, além de serem responsáveis por perdas no processo de concentração. Perdas e diluição maiores do que foi previsto podem colocar em risco a viabilidade da decisão de investimento na mineração.

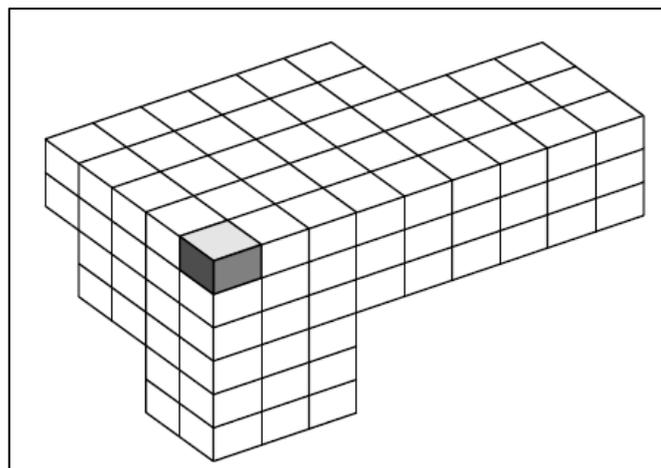
A classificação da diluição adotada neste trabalho será dividindo-a em diluição in situ e diluição na lavra, já que estes conceitos abrangem as outras definições dadas por diversos autores citados na revisão bibliográfica. O conceito de perda será estudado juntamente com a diluição.

2.2.2. Unidade Seletiva de Lavra

A definição para SMU (*selective mining unit*), ou unidade seletiva de lavra, é o menor tamanho de bloco onde pode ser feita a distinção entre minério e estéril, e assim, o menor volume em que pode ser estimado o teor médio (Figura 11). O seu tamanho é geralmente determinado pelas restrições associadas ao método de lavra a ser utilizado na operação (Sinclair & Blackwell, 2004).

A escolha de uma SMU e suas dimensões deve ser feita cuidadosamente, já que estas dependem de fatores inter-relacionados como, espaçamento de malha do desmorte, especificações do equipamento, altura de bancada e características de desmorte do local.

Figura 11 - Arranjo tridimensional para aproximar a geometria de um depósito mineral.



Fonte: Sinclair & Blackwell (2004).

Uma definição não convencional para SMU, dada por Leuangthong et. al (2004), é o tamanho do modelo de bloco que prevê corretamente a tonelagem de minério, a tonelagem de estéril e o teor de corte diluído que a usina irá receber. Este tamanho deve ser baseado na habilidade que o equipamento possui em selecionar material, mas também é baseado nos dados disponíveis para a classificação (furos de desmorte ou furos de amostras de controle de teores), os procedimentos utilizados para traduzir estes dados disponíveis para os limites lavráveis do depósito e a eficiência que cada equipamento lava tais limites. Inúmeras fontes de diluição também devem ser consideradas, incluindo diluição interna devido à variabilidade dentro da SMU (diluição *in situ*), diluição externa resultante de contatos geológicos/geométricos (diluição na lavra), e diluição operacional que leva em conta erros de produção, pressões por resultados e demandas do planejamento (diluição na lavra).

Existem diferentes maneiras para escolher o tamanho ideal da unidade seletiva de lavra. Leuangthong et al. (2004), propõem a escolha de tamanho de uma SMU através de simulação condicional para gerar múltiplas realizações de teores. A metodologia consiste em comparar a tonelagem e teores obtidos através do controle de teores com a tonelagem e teores obtidos após o processamento das realizações de uma série de diferentes tamanhos de SMU. Comparações com as práticas tradicionais de controle de teores fornecem o tamanho ótimo de SMU. Leuangthong et al. (2004) dizem ainda que selecionar o tamanho apropriado de SMU é uma combinação entre obter estimativas corretas de massas de minério e obter o teor correto deste material.

Segundo Dagdelen (1996), determinar a diluição e como um depósito pode ser minerado seletivamente é muito importante para uma estimativa precisa de reservas de minério em lavra a céu aberto. O tamanho de uma SMU difere de uma mina para outra; é função do tamanho do equipamento e das alturas de bancada utilizadas. O tamanho de SMU e a diluição interna são diretamente relacionados um ao outro. Um tamanho pequeno de SMU significa equipamentos pequenos, lavra mais seletiva e menor diluição. Maior tamanho de SMU significa equipamentos de grande porte, maiores alturas de bancada, menor seletividades na lavra e conseqüentemente maior diluição. Peroni (2002) diz que quando há redução de seletividade, conseqüentemente ocorre diluição proporcionada pelo aumento da dimensão de blocos, onde a transferência de toneladas de estéril para minério é maior conforme o aumento da dimensão de blocos.

Estimativas de reservas minerais durante o estudo de viabilidade utilizando um tamanho de SMU maior do que o alcançado durante a lavra pode resultar em subestimativas de grandes porções de mineralizações. Da mesma forma, estimativas de reservas minerais com tamanho de SMU muito menores do que o alcançado na lavra podem também resultar em superestimativa de massas de minérios de alto teor. (Dagdelen, 1996). Com o aumento do tamanho de SMU, a seletividade diminui e há crescimento correspondente na tonelagem de minério lavrado com menor teor médio (Sinclair & Blackwell, 2004).

Dagdelen (1996), também cita que a estimativa precisa de teores e massas de reservas minerais são diretamente relacionadas na inclusão da diluição por meio da definição adequada do tamanho de SMU. Conseqüentemente, uma avaliação adequada do potencial econômico de um depósito durante o estudo de viabilidade está diretamente relacionada à forma como lavra

seletiva e conceitos de diluição são incorporados em procedimentos de estimativas de reservas minerais.

2.2.3. Seletividade da lavra

Godoy (1997) diz que o objetivo da lavra seletiva é reduzir a diluição de minério. A capacidade seletiva na lavra inclui parâmetros críticos como: controle geológico e estrutural do depósito; teores de corte praticados; grau de continuidade do minério; dimensões e capacidade seletiva dos equipamentos de lavra e taxa de produção requerida. Esses parâmetros determinam as dimensões das unidades seletivas de lavra (SMU) ou blocos de lavra, nos quais é possível separar material estéril de minério.

Stone & Ranta (1992) explicam que se o método de lavra for seletivo o suficiente para seguir precisamente os limites do minério, o teor da tonelagem minerada será igual ao teor da amostragem prévia. Se, por outro lado, o método de lavra não apresentar uma seletividade muito grande, certa quantidade de estéril irá substituir um volume igual de minério que seria minerado no bloco. Neste caso, a massa total lavrada será igual à massa estimada, porém o teor lavrado será menor que o teor estimado, devido à diluição de contato.

A lavra a céu aberto, historicamente, sempre foi considerada como um método de lavra de grandes quantidades e de pouca seletividade. Entretanto, uma tendência mundial, de cada vez mais difíceis condições de lavra a céu aberto combinada com a necessidade de aproveitamento dos recursos minerais, controle dos custos e aprimoramento do desempenho da usina acentuaram a necessidade de fragmentação ideal, mineração seletiva, e melhoria no controle de qualidade. Alinhados a esta necessidade, avanços tecnológicos como uso de equipamentos de lavra utilizando GPS, bem como equipamentos mais precisos, tornam a lavra seletiva cada vez mais viável, através da diminuição da unidade seletiva de lavra (Wetherelt & Wielen, 2011).

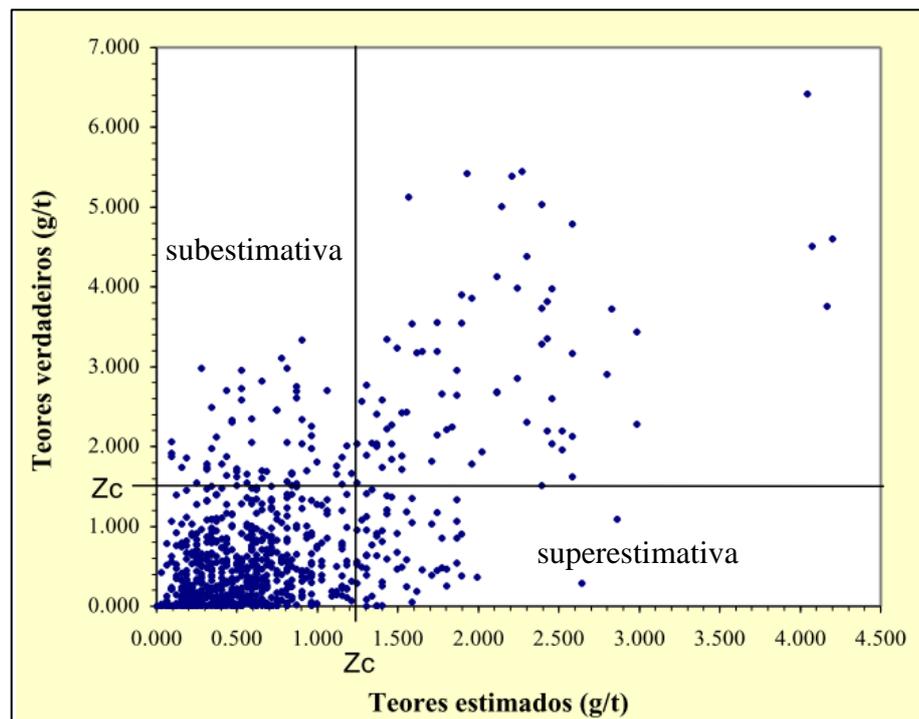
Via de regra, existe mais do que uma maneira para lavar um corpo de minério, dependendo do grau de seletividade que está sendo aplicado. Thomas & Snowden (1990), dizem que o objetivo da lavra seletiva é reduzir a diluição obtida através da incorporação de estéril ao mineral de valor. O controle da lavra seletiva inclui os seguintes parâmetros:

- A complexidade geológica e/ou estrutural do corpo de minério;
- O teor de corte que está sendo utilizado;

- O grau de continuidade do minério acima do teor de corte;
- O tamanho e precisão do equipamento de lavra, e;
- A taxa de produção requerida.

A seletividade de mina também esbarra na seleção adequada do equipamento que fará a lavra; deve ser escolhido um equipamento compatível com o depósito, que maximize a recuperação, minimize a diluição e apresente desempenho ótimo para geometrias específicas de bancada (Swanepoel, 2003). As perdas ocasionadas pela classificação errônea de blocos de lavra sempre estarão presentes em uma operação de lavra seletiva. Essas perdas ocorrem devido ao desconhecimento da exata distribuição de teores nos painéis de lavra (Godoy, 1997). A Figura 12 mostra um gráfico dos teores verdadeiros versus teores estimados, e um teor de corte Z_c aplicado a ambos os eixos. Os quatro quadrantes definidos representam os quatro possíveis cenários: blocos corretamente classificados, nos quadrantes superior direito e inferior esquerdo; blocos superestimados e subestimados, nos quadrantes inferior direito e superior esquerdo, respectivamente. Estas subestimativas ocasionam o descarte de minério, como perda ao passo que as superestimativas de teores contribuem na incorporação de estéril como diluição.

Figura 12 - Gráfico mostrando teores verdadeiros versus teores estimados, e um teor de corte Z_c aplicado a ambos os eixos.



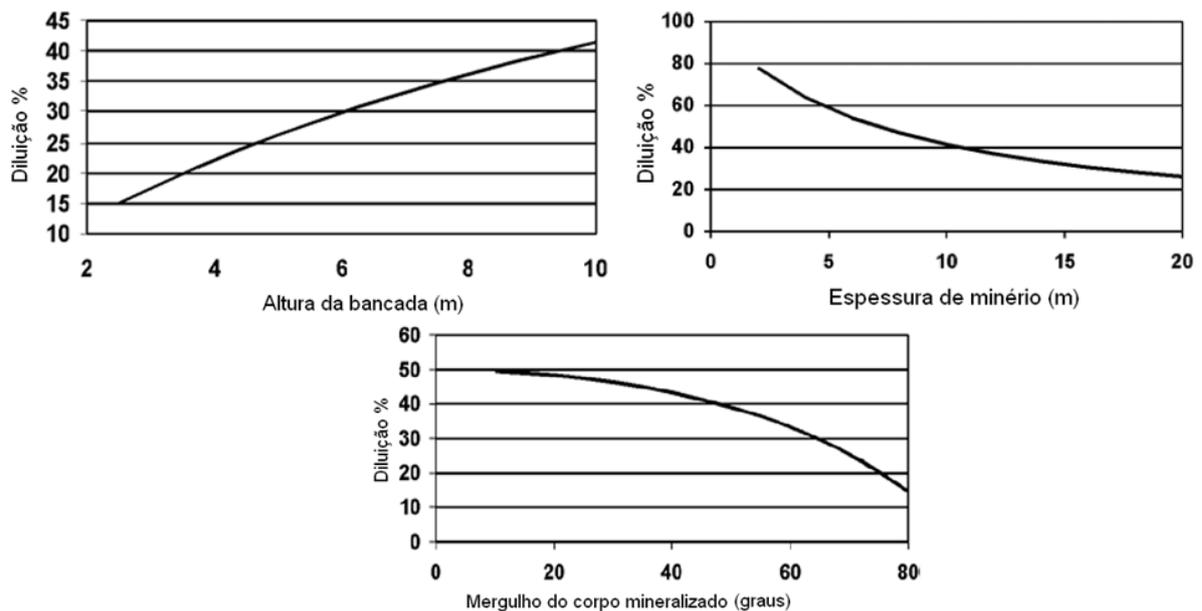
Fonte: Godoy (1997).

Segundo Swanepoel (2003), a altura de bancada é uma variável primária de interesse uma vez que esta influencia diretamente nos custos, recuperação, diluição e na eficiência da produção e custos das diferentes de equipamentos de lavra.

Um estudo de caso em Telfer Gold Mine, Western Austrália, demonstra algumas particularidades relevantes que dizem respeito à altura de bancada e como a recuperação e a diluição, e eventualmente custo total de produção, são influenciados por esta. É sabido que a altura de bancada não é determinada pela eficiência do equipamento, e sim pela recuperação e pela diluição. A simulação de diferentes tamanhos de equipamento permite determinar a eficiência deste equipamento em termos de recuperação e diluição.

A complexidade geológica do corpo de minério é uma variável de extrema influência nas causas da diluição devido à falta de seletividade. A Figura 13 mostra como altura de bancada, espessura do minério e o mergulho do corpo mineralizado afetam na contabilização da diluição.

Figura 13 - Influência de aspectos geométricos operacionais e geológicos na diluição durante a lavra.



Fonte: Modificado de Sinclair & Blackwell (2004).

CAPÍTULO 3

3. RECONCILIAÇÃO

Fouet et al (2009), definem a reconciliação como a comparação entre uma estimativa (modelo de recursos, modelo de reservas de minério, controle de teores, ou planejamento de produção da lavra) e uma medida (informações de pesquisa, dados da movimentação da produção oficial, geralmente da planta de processo ou beneficiamento).

Existem diferentes tipos de reconciliação, como reconciliação de massa entre planejado e executado; reconciliação de teores; reconciliação entre lavra e usina, entre outros. Neste trabalho, a reconciliação realizada foi entre massas e teores de minério planejados com massas e teores de minérios executados.

As práticas de reconciliação consistem na comparação entre as quantidades e teores de minério estimados pelos modelos da jazida e as quantidades e teores de minério lavrados e após, beneficiados na usina. Grandes discrepâncias entre esses valores são um problema comum em diversos empreendimentos mineiros, fazendo-se necessária a adoção de estratégias que minimizem esse problema.

Segundo Blucher (2002), na maioria dos casos o processo de reconciliação é complexo e difícil de estabelecer com absoluta certeza os valores corretos de cada dado, o tempo todo. Um pouco dessa complexidade pode ser reduzida ou eliminada se cada um dos subitens descritos abaixo for visto como sendo compostos por:

- Os dados variam de uma série de fontes, coletados ao longo de intervalos de tempo;
- Informações resumidas a partir destes dados relacionados com o desempenho das fontes ou processos a serem examinados;
- Conhecimento adquirido ao longo do tempo relativo às variações inerentes que podem estar presentes no resumo das informações e como isso impacta o valor do produto ou o desempenho ao longo do tempo.

A metodologia para a reconciliação usada nesse trabalho foi desenvolvida com base nos procedimentos e arquivos disponíveis na Vale Fertilizantes. Esses procedimentos

compreendem geração de rotinas e planilhas Excel e foram desenvolvidos a partir dos arquivos de planejamento e produção do ano de 2011.

3.1. Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado em um depósito de fosfato pertencente à empresa Vale Fertilizantes, localizado na região sudeste do Brasil, estado de Minas Gerais, cidade de Araxá.

O depósito de fosfato pertence ao Complexo Carbonatítico do Barreiro, e segundo Torres & Gaspar (1995), o intemperismo sofrido por este complexo provocou a formação da maior jazida de nióbio do mundo, além de ocorrer uma importante jazida de fosfato, com reservas estimadas em 123.000.000t de minério apatítico a um teor médio de 6% de P_2O_5 . Este depósito é lavrado a céu aberto, em cavas, utilizando desmonte mecânico.

Existe na empresa, uma rotina de controle dos dados sobre quantidades de minério produzido por período. Estas quantidades são verificadas através de pesagem na balança, quando os caminhões levam o minério produzido para a usina de beneficiamento. É através destes dados que a comparação com os valores planejados será realizada.

3.2. Descrição dos Procedimentos

O processo de reconciliação auxilia qualquer empresa na busca pela maior aderência do planejamento de lavra com as quantidades efetivamente lavradas, assim como no controle de teores e massas. Este processo funciona melhor quando está inserido dentro de uma metodologia, e esta é aplicada de maneira regular.

Para tanto, a construção de um *script* que automatiza as etapas envolvidas na criação de um modelo de blocos, para reconciliação, será feito. Este *script* necessita de alguns dados de entrada, tais como: topografia inicial e topografia final do período a ser avaliado; modelo de blocos original, para que as informações contidas neste possam ser repassadas ao novo modelo criado entre as superfícies; e limite de lavra, uma poligonal que determina até onde será considerado o novo modelo criado, para que este não possua dados desnecessários. A seguir, serão descritos os procedimentos para obtenção destes arquivos, bem como a execução da rotina computacional gerada.

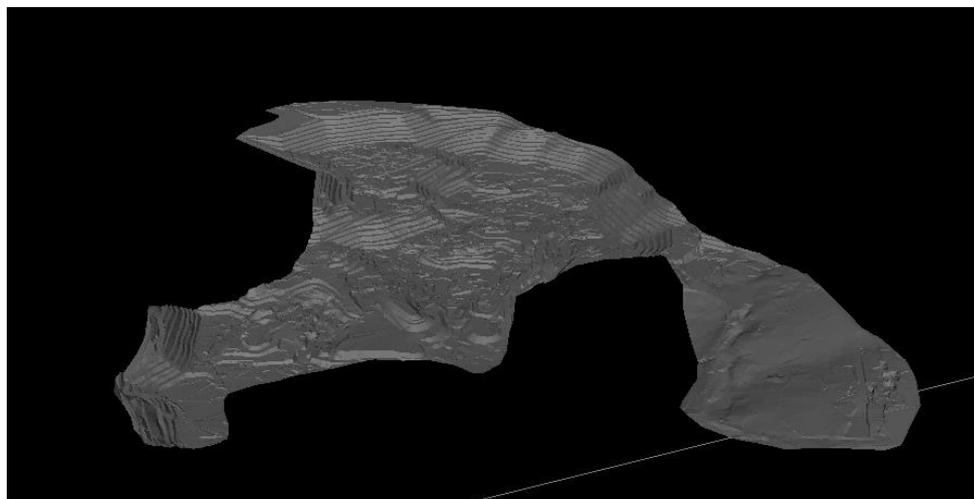
3.2.1. Geração das Superfícies Topográficas

As superfícies foram geradas a partir de *strings* de levantamento topográfico mensal contemplado em cada trimestre, de forma a medir o avanço de cada plano mensal acumulado dentro do trimestre a ser reconciliado.

Em cada área foi utilizado o mesmo limite de lavra para todos os trimestres, tanto com a finalidade de evitar o processamento desnecessário de dados como também de eliminar áreas que não houve movimentação de material, garantindo-se assim a correta manipulação dos dados.

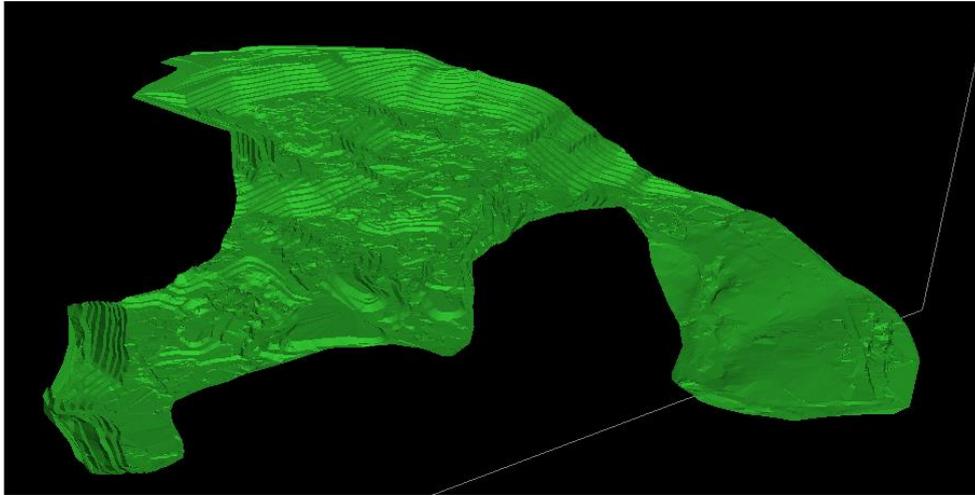
As figuras a seguir mostram a topografia inicial (Figura 14), topografia final (Figura 15) e um corte vertical das duas topografias (Figura 16) para o período da reconciliação - primeiro semestre - da mina Barreiros, respectivamente.

Figura 14 - Topografia inicial do primeiro semestre de 2011.



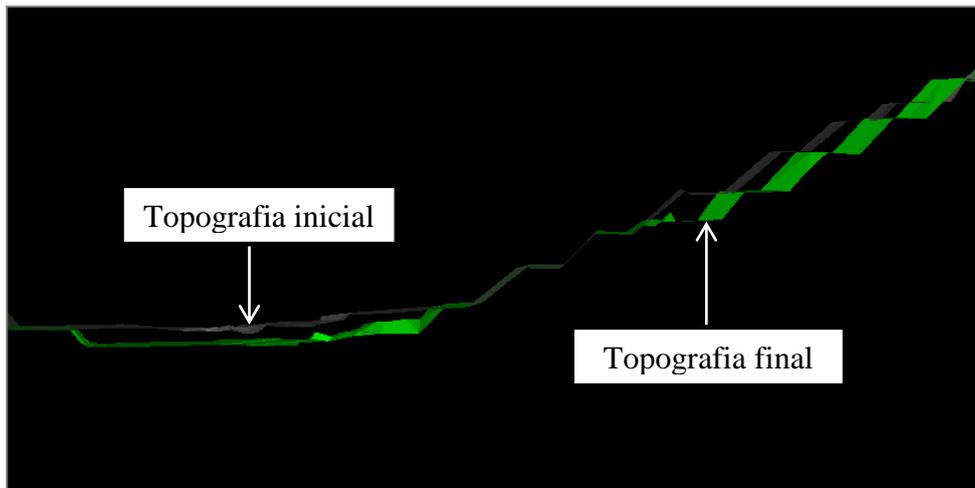
Fonte: Studio 3.

Figura 15 - Topografia final, primeiro semestre de 2011.



Fonte: Studio 3.

Figura 16 - Seção W-E, topografias inicial e final, primeiro semestre.

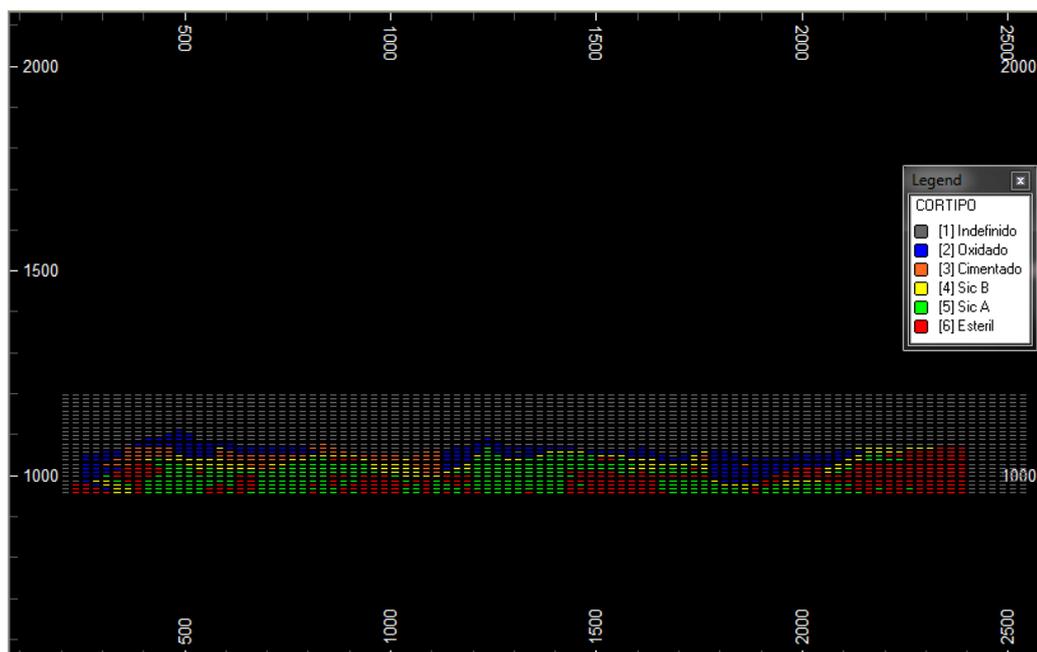


Fonte: Studio 3.

3.2.2. Geração do Modelo de Blocos Entre as Superfícies

O modelo de blocos de longo prazo original é formado por blocos de 25 x 25 x 10m (Figura 17), porém foi criada uma rotina para geração de modelo de blocos com sub-blocos entre as superfícies topográficas inicial e final do semestre, de forma a se conseguir uma melhor definição dos contatos.

Figura 17 - Modelo de blocos original de longo prazo, colorido de acordo com legenda classificada a partir do tipo de rocha.



Fonte: Studio 3.

A reconciliação do executado com o planejamento de longo prazo é feita utilizando diferença de topografias entre o período desejado (semestre ou ano) criando um modelo de blocos entre estas superfícies, para poder comparar com o planejamento deste período.

Para esta reconciliação foi desenvolvido um *script* que cria um modelo de blocos entre as topografias, baseado no modelo de blocos de longo prazo. Com o arquivo de saída é feita a avaliação através dos *softwares* Studio 3 e Microsoft Office Excel. Por fim, compara-se com os resultados passados pelo planejamento.

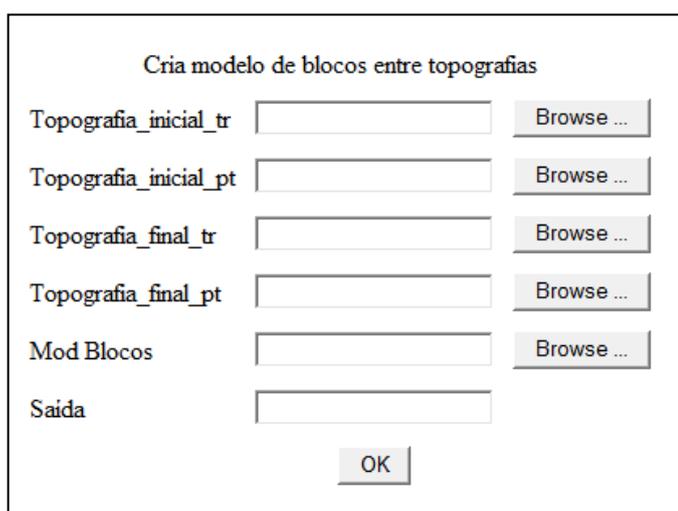
O primeiro passo da execução do *script* é rodar o processo “*Wirefill*” que tem por objetivo criar um modelo de blocos com o mesmo tamanho do modelo de blocos original, com os campos que determinam sua posição em relação à topografia. Este processo é feito duas vezes, primeiramente para criar o campo com os blocos abaixo da topografia e após para criar os blocos acima da topografia. Neste trabalho foi usado um sub-bloco no tamanho de 2.5m nas dimensões x, y e z, significando que o modelo de blocos original que possui células com dimensões regulares de 25 x 25 x 10m pode ser sub-blocado no plano XY até 10 vezes, ou seja, a menor dimensão dos blocos no plano XY será de 2.5m.

Após executar duas vezes o processo “*Wirefill*” (uma vez para criar o modelo acima da topografia e outra para criar um modelo abaixo), é executado o processo “*Addmod*”, que adiciona os campos do modelo de blocos original a estes modelos criados nesta etapa.

Para finalizar, o processo “*Copy*” é executado, para que somente os dados que contenham as informações requisitadas sejam guardados no novo modelo.

O *script* apresentado na Figura 18 sintetiza estas operações.

Figura 18 - *Script* que cria modelo de blocos entre as superfícies.



Cria modelo de blocos entre topografias

Topografia_inicial_tr Browse ...

Topografia_inicial_pt Browse ...

Topografia_final_tr Browse ...

Topografia_final_pt Browse ...

Mod Blocos Browse ...

Saida

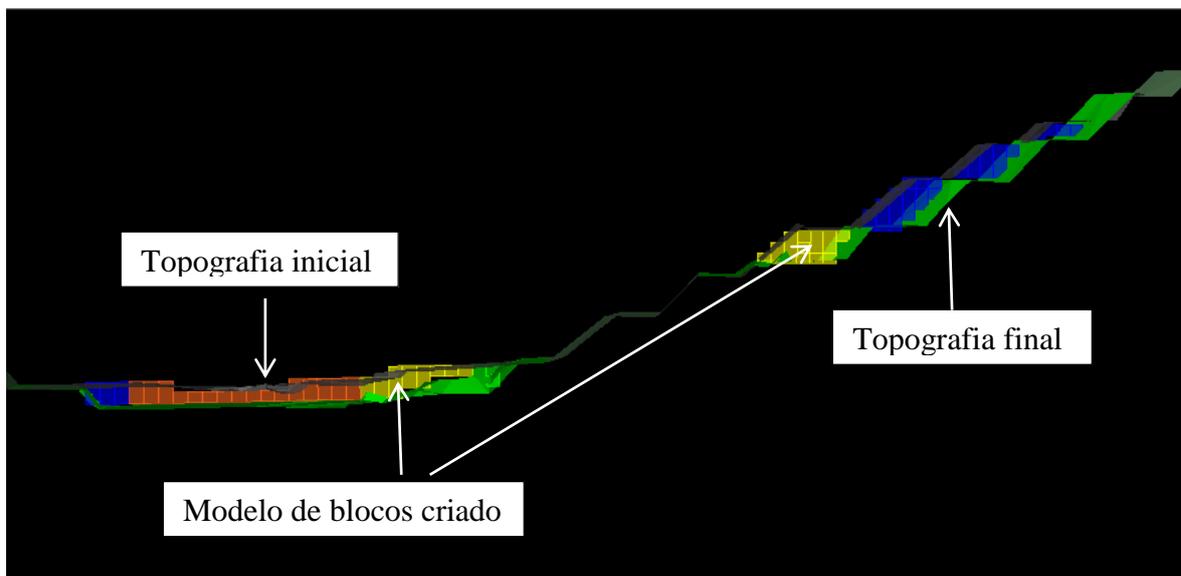
OK

Fonte: Microsoft FrontPage

Para execução do *script* apresentado anteriormente os arquivos de entrada devem ser informados nas caixas de texto específicas, e em seguida deve se nomear o arquivo de saída que será gerado. Em seguida, deve ser acionado o botão “OK” para a criação do modelo. No final dos processos será criado o seguinte arquivo:

- **Modelo de blocos lavrados:** modelo contendo os blocos entre a superfície inicial e a final onde houve lavra em períodos semestrais (ou no período desejado). Este modelo contém todos os campos presentes no modelo de blocos inicial, somente para o período analisado (Figura 19).

Figura 19 - Modelo de blocos criado entre as topografias.



Fonte: Studio 3.

3.2.3. Classificação dos Blocos de Minério e Estéril

De acordo com as propriedades presentes e seus respectivos teores, os tipos de rocha que compõem o depósito são classificados como minério ou estéril. Os tipos de rochas que foram classificados são os seguintes:

1. Indefinido
2. Oxidado
3. Cimentado
4. Sílicocarbonatado B
5. Sílicocarbonatado A
6. Estéril

Na reconciliação do executado com o planejamento de longo prazo foram considerados os tipos: 2 e 3, que compõem o oxidado total, o minério propriamente dito, e o tipo 4, sílicocarbonatado B, que nem sempre entra na usina devido a problemas de

recuperação, porém é lavrado como minério. Os tipos 1 e 6 são considerados como estéril e o tipo 5 tem alguma porcentagem de fosfato presente, mas não entra no cálculo como minério, é considerado minério de baixo teor.

3.3. Reconciliação: Análises e Resultados

3.3.1. Descrição dos Procedimentos

A comparação dos dados obtidos através das medições de topografia e modelo de blocos gerado com os dados apresentados pela equipe de Planejamento da Vale Fertilizantes foi feita através de dados em planilha Microsoft Office Excel e foi realizada para o período de janeiro a junho de 2011.

Os dados do planejamento são provenientes de estimativas feitas através do modelo de blocos e *strings* de locais a serem lavrados, de acordo com a disponibilidade de área a ser lavrada e da quantidade de minério que esta possui.

Com a avaliação do arquivo de saída gerado pelo *script*, pode ser calculada a massa total lavrada no período com seus respectivos teores, para o minério de interesse. Este procedimento é executado através do processo “*Evaluate Wireframe*” do Studio 3, utilizando o modelo de blocos gerado e a legenda segundo os tipos de rocha.

3.3.1.1. Reconciliação semestral – planos mensais

Após a criação do modelo de blocos entre as topografias foi feita sua avaliação. Com o modelo exportado para o Microsoft Office Excel pode ser feita a avaliação da massa do executado, através da diferença entre as topografias. Conforme mostrado antes, o minério é composto pelos tipos 2, 3 e 4, portanto serão estes tipos de rocha a ser analisados. A Tabela 1 mostra que foi executado um total de 2.527.425 toneladas de minério, e a Tabela 2 mostra os resultados obtidos em relação aos teores médios encontrados.

Tabela 1 - Avaliação da massa do executado, diferença entre topografias.

Toneladas	
Total oxidado (2)	1.625.000
Total cimentado (3)	433.200
Total Sic B (4)	470.425
Total	2.527.425

Tabela 2 - Avaliação dos teores médios dos blocos do período executado, diferença entre topografias.

	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ AP	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	CaOP ₂ O ₅
Total oxidado (2)	13.40	10.86	3.39	1.48	14.72	31.91	1.16	0.28	17.07	5.38	1.11
Total cimentado (3)	21.54	19.11	2.14	1.05	25.92	25.73	0.74	0.23	6.79	3.85	1.20
Total Sic B (4)	10.76	10.35	2.97	0.73	14.68	23.41	7.45	0.21	21.64	4.79	1.38
Total	14.31	12.18	3.10	1.26	16.63	29.27	2.26	0.26	16.16	5.01	1.17

Tabela 3 - Aderência dos teores planejados e executados.

Aderência Teores	
P ₂ O ₅	96%
P ₂ O ₅ AP	99%
Al ₂ O ₃	96%
CaO	99%
Fe ₂ O ₃	101%
MgO	97%
Nb ₂ O ₅	101%
SiO ₂	72%
TiO ₂	100%

O planejamento dispunha de planos mensais e trimestrais para o período. Primeiramente, a comparação foi feita com o acumulado mensal do planejamento, para o primeiro semestre de 2011. Para fazer a comparação, os planos fornecidos pela empresa foram analisados. A empresa possui dados de planejamento mês a mês, com as quantidades de massa e teores esperados a serem minerados. Estes planos foram acumulados (somadas as quantidades de minério planejadas para todos os meses), para comparar com os seis meses analisados através da metodologia do *script*.

Tabela 4 - Avaliação da tonelagem dos planos mensais, jan/jun 2011, acumulados para o período.

	Toneladas
Total oxidado (2)	2.545.000
Total cimentado (3)	712.500
Total Sic B (4)	885.500
Total	4.143.000

Observando a Tabela 1 e a Tabela 4, nota-se que a aderência do planejado e do executado é bastante pequena, sendo que de 4.143.000 toneladas planejadas, foram executadas 2.527.425 toneladas, ou seja, 61% do desejado (Tabela 5). A aderência dos teores é boa, apenas com SiO₂ tendo uma variação grande, com aderência de 72% (conforme Tabela 3). Tanto as massas planejadas quanto as executadas são provenientes de modelos teóricos de teores, já que para a avaliação da massa executada, o modelo de blocos criado entre as topografias considerou as informações provenientes do modelo de blocos de longo prazo.

Tabela 5 - Aderência entre tonelagem estimada com tonelagem executada.

	Toneladas	Aderência
Planejado	4.143.000	61%
Executado	2.527.425	

3.3.1.2. Reconciliação semestral – planos trimestrais

Depois da avaliação dos planos mensais acumulados, foi feita a comparação dos planos trimestrais acumulados com o executado para o mesmo período. A análise dos planos trimestrais seguiu a mesma metodologia utilizada nos planos mensais acumulados, foi feita a soma do primeiro e segundo plano trimestral do ano, correspondente aos seis meses analisados no *script*. A análise através da acumulação dos planos trimestrais apresenta um valor mais próximo do executado, uma vez que os planos mensais apresentam muito mais informações do que o modelo de blocos original. Estas informações quando comparadas com os valores executados apresentam maior diferença na reconciliação. O valor encontrado na acumulação dos planos trimestrais foi de 3.363.000 toneladas de minério. (conforme Tabela 6).

Tabela 6 - Avaliação da tonelage dos planos trimestrais 2011 (1 e 2). (valores aproximados)

	Toneladas
Total oxidado (2)	2.502.000
Total cimentado (3)	442.000
Total sic B (4)	419.000
Total	3.363.000

A diferença entre os planos trimestrais para os planos mensais acumulados já é bastante significativa, da ordem de 23%. Isso ocorre, pois o planejamento em curto prazo possui dados mais concretos e com mais certeza do que o planejamento a longo prazo, uma vez que este modelo não é atualizado a cada nova informação disponível.

Tabela 7 - Avaliação dos teores do executado, diferença entre topografias.

	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ AP	Al ₂ O ₃	CAO	FE ₂ O ₃	MGO	NB ₂ O ₅	TIO ₂	CAOP ₂ O ₅
Total oxidado (2)	13.39	10.72	3.25	14.53	30.73	1.03	0.27	5.59	1.09
Total cimentado (3)	21.46	18.89	2.17	25.62	25.33	0.75	0.23	3.93	1.19
Total sicB (4)	11.79	11.38	3.22	15.96	26.68	7.23	0.18	5.22	1.36
Total	14.25	11.88	3.10	16.17	29.52	1.77	0.25	5.33	1.14

Tabela 8 - Aderência dos teores planejados e executados.

Aderência Teores	
P ₂ O ₅	100%
P ₂ O ₅ AP	103%
Al ₂ O ₃	100%
CaO	103%
Fe ₂ O ₃	99%
MgO	78%
Nb ₂ O ₅	102%
TiO ₂	94%

Utilizando a mesma planilha de cálculo para o executado, notou-se que a aderência aumentou, passando para 75% em massa (Tabela 9) e nos teores variando de 94% a 100% (Tabela 8), apenas com o teor de MgO destoando, com 78% de aderência (Tabela 7). A

variação do teor de MgO é explicada pelo fato de que a amostragem deste não é feita sistematicamente. Os teores que apresentam aderência maior que 100% significam que o teor encontrado no executado foi maior do que o teor planejado.

Tabela 9 - Aderência entre tonelagem estimada com tonelagem executada.

	Toneladas	Aderência
Planejado	3.363.000	75%
Executado	2.527.425	

Esta baixa aderência é explicada pelo fato de que dependendo do mês, o minério tipo (4) – sílico carbonatado B, entra no cálculo de tonelagem. Existem alguns problemas na operação e na usina, que acabam por influenciar na baixa aderência do planejamento com o executado. Se o minério não estiver dando uma boa resposta na usina, ajustes devem ser feitos na operação, e conseqüentemente, o planejamento não é seguido. O outro motivo que causa os desvios, principalmente com os dados do planejamento mensal, é que muitas vezes o modelo de blocos utilizado é o de curto prazo, quando deveriam ser utilizados os mesmos parâmetros na reconciliação.

3.4. Indicadores Chave de Desempenho

A utilização de indicadores chave de desempenho (KPI, do inglês *Key Performance Indexes*) na reconciliação da lavra ajuda a definir e medir o progresso nesta etapa. Conforme mostrado no Capítulo 2, os indicadores de desempenho definidos e utilizados na empresa foram os seguintes: índice de cumprimento, índice de aderência e índice de efetividade. Estes indicadores irão mostrar a real reconciliação da lavra, uma vez que demonstrarão se o planejamento está sendo seguido ou não.

Após a avaliação feita utilizando o processo de reconciliação, pode ser feita a análise dos indicadores chave de desempenho. Esta análise foi feita com o auxílio de outro *script* criado pela empresa (Figura 20), o qual cria modelos de blocos para o período planejado e outro para o período executado. Após a criação destes modelos, os resultados são exportados para uma planilha onde o cálculo dos KPIs é executado.

Figura 20 - *Script* para cálculo dos KPI.

Aderência Planejamento

Modelo de entrada

Topo inicial (tr)

Topo inicial (pt)

Topo executada (tr)

Topo executada (pt)

Topo planejada (tr)

Topo planejada (pt)

Limite:

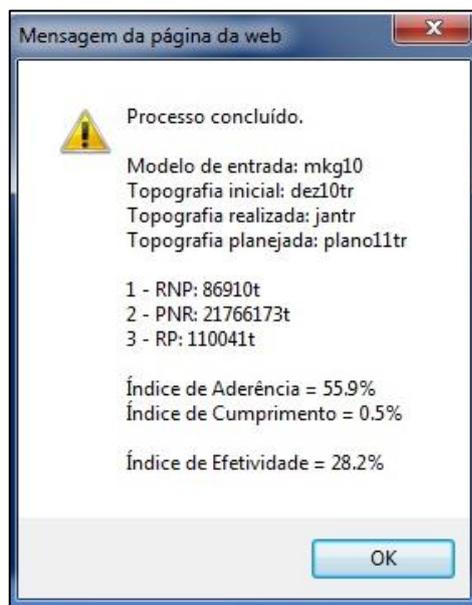
Sub-Blocagem

X Y Z

Modelo de saída

Fonte: Microsoft FrontPage

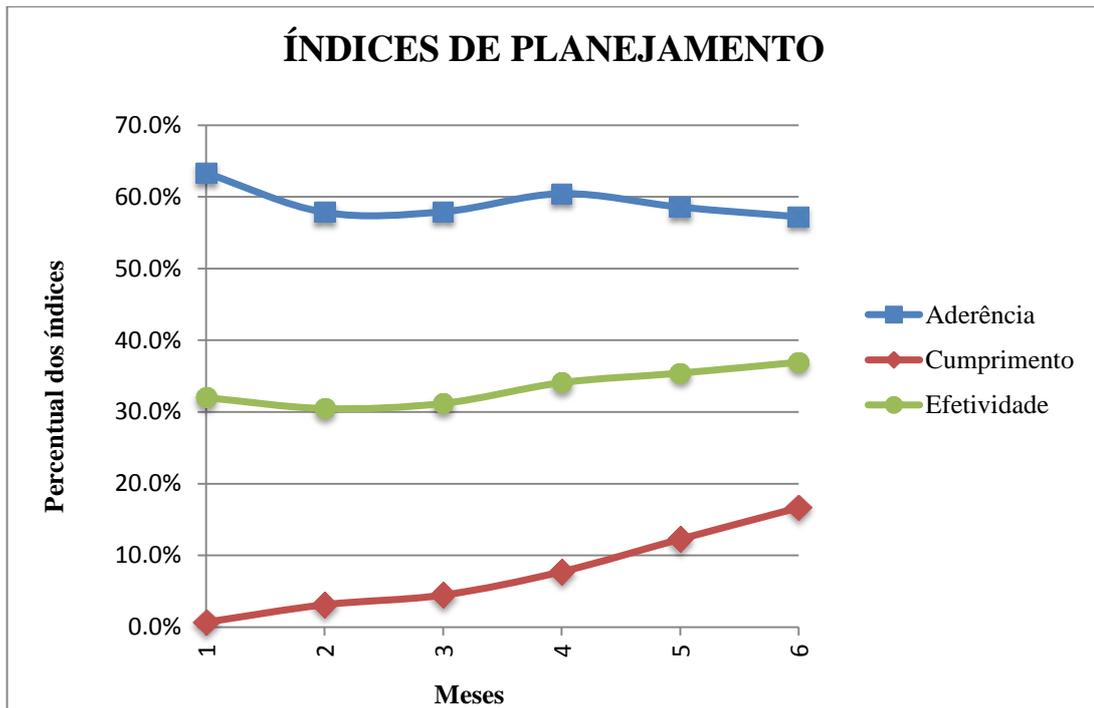
As etapas envolvidas na criação destes modelos correspondem a processos no Studio 3, utilizando arquivos de entrada como topografia e modelo de blocos original para criar um modelo para determinado mês. O arquivo de saída deste *script* se assemelha ao da Figura 21, e este terá um campo chamado ADER, o qual terá os campos 1, 2 e 3, os quais representam respectivamente os valores de massa para RNP (realizado não planejado), PNR (planejado não realizado) e RP (realizado e planejado). Ao final do processo, uma janela com os valores para IA, IC e IE é mostrada na própria tela do Studio 3. Entretanto, é importante que os cálculos sejam realizados em uma planilha Excel, para que uma memória de cálculo seja gerada, além dos resultados poderem ser demonstrados de maneira gráfica.

Figura 21 - Janela arquivo de saída do *script* de aderência, mês referência janeiro.

Após rodar o *script* para os seis meses do período analisado, de janeiro até junho, os resultados são levados para uma planilha Excel, onde os gráficos serão gerados. Estes resultados são computados mês a mês e comparados com o planejamento para o período total. Tal fato pode levar a uma má interpretação do resultado, fazendo com que pareça estar muito mais errôneo e distante da realidade do que de fato está.

O gráfico da Figura 22 mostra que os indicadores chave de desempenho não apresentaram um resultado satisfatório. O índice de cumprimento começa praticamente em zero e a sua tendência é ir aumentando com o passar dos meses. Apesar disso, ainda está muito baixo, demonstrando que o planejamento não está sendo cumprido como deveria. A aderência é correspondente aos valores encontrados na reconciliação utilizando os planos mensais acumulados. O índice de efetividade também está com valores muito baixos, e estes podem ser explicados pelo fato da análise estar sendo feita mensalmente e comparada com o planejamento anual. Todos estes índices apresentam melhores resultados quando o período da reconciliação é maior, uma vez que planos mensais tem pouca quantidade de informação.

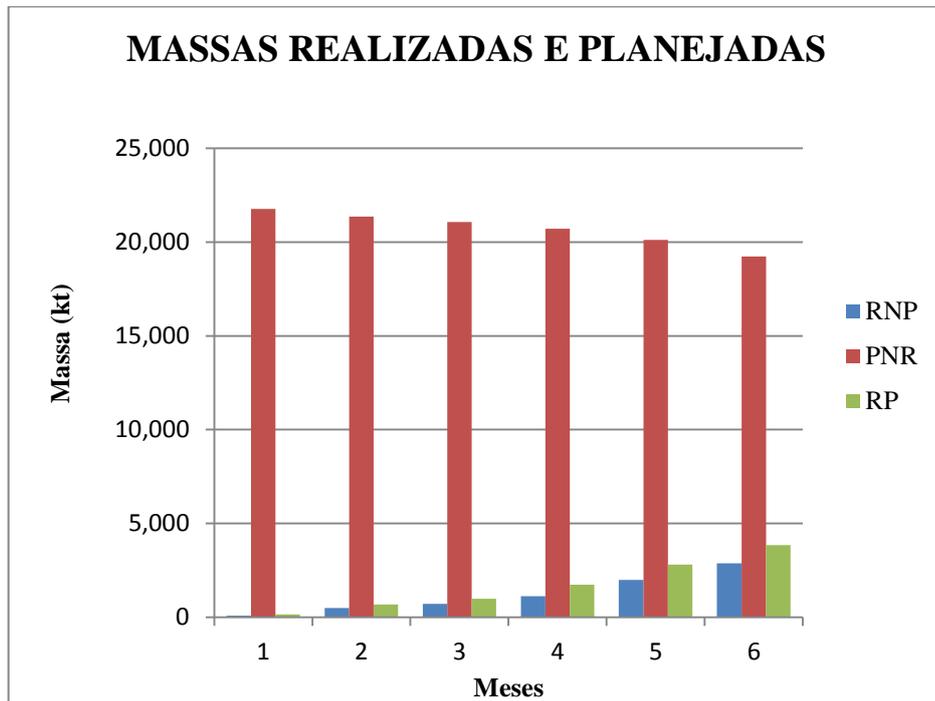
Figura 22 - Índices de planejamento.



Fonte: Microsoft Office Excel.

A Figura 23 mostra um gráfico de barras para as massas planejadas e efetivamente lavradas. O gráfico demonstra que o planejamento não está sendo seguido, o que explica os baixos valores dos KPIs. Como pode ser visto, a maior parte é a PNR, planejado não realizado. É importante destacar mais uma vez que o planejamento é anual, por isso existe essa diferença tão grande entre os três indicadores. O esperado para o sexto mês era de que o somatório de RP (realizado e planejado) com RNP (realizado não planejado) atingisse ao menos a metade do planejado para o período, uma vez que o sexto mês corresponde à metade do planejamento anual. Entretanto, estes baixos valores são resultado de problemas operacionais, como dificuldades em acessar determinada região anteriormente planejada, não por problemas com diluição.

Figura 23 - Massas realizadas e planejadas.



Fonte: Microsoft Office Excel.

Mesmo apresentando valores indesejados, a avaliação destes índices permite identificar onde se encontram os problemas do planejamento e como estes podem ser corrigidos. É importante investigar o porquê do planejamento não estar sendo seguido além de priorizar as áreas com os maiores problemas.

A utilização de *scripts* e o controle dos indicadores chave de desempenho do planejamento de lavra tornam os resultados melhores, além de permitir um maior controle dos dados.

CAPÍTULO 4

4. DILUIÇÃO

A diluição pode ser definida como material estéril incorporado ao minério durante sua extração e enviado para a usina de beneficiamento, reduzindo assim os teores de minério previamente estimados. Já a perda, segundo Villaescusa (1998), é definida como o material econômico que deixa de ser minerado devido a condições de lavra e operação.

Neste trabalho será feita a análise da diluição, incluindo as perdas como parte desta análise. É importante controlar a diluição através das práticas de reconciliação, uma vez que utilizando um fator de diluição nas estimativas é possível prever valores mais próximos à realidade.

A diluição é uma combinação de características do depósito e questões operacionais de lavra que incorporam material estéril e minério de baixo teor ao minério no processo de extração. Esta mistura reduz o valor do minério, bem como aumenta os custos de lavra e beneficiamento. No entanto, controlar a diluição pode ser bastante caro, por isso deve ser feito um balanço dos custos versus o benefício do controle da diluição. Apesar de a diluição não poder ser totalmente eliminada, esta pode ser medida e controlada.

Segundo McAra (2007), a diluição pode ser reduzida, ajustando as variáveis relacionadas com a lavra para melhor corresponder às variáveis relacionadas com o depósito. Por exemplo, reduzindo a altura de bancada, é possível extrair de forma mais seletiva e, assim, reduzir a diluição. Por outro lado, a redução da altura de bancada irá aumentar o custo de produção da unidade. Portanto, a altura de bancada e a diluição são dois fatores que devem ser controlados em conjunto.

Existem diversas fontes causadoras de diluição, entretanto, neste estudo será enfatizada a parte da análise geométrica, que é uma parte mensurável e que podem ser feitos cálculos para obtenção de valores concretos. Os tipos de diluição que serão calculados será a diluição causada pela eficiência de execução da lavra e a diluição causada em função da geometria da bancada. Os outros itens previamente definidos como parte da análise de

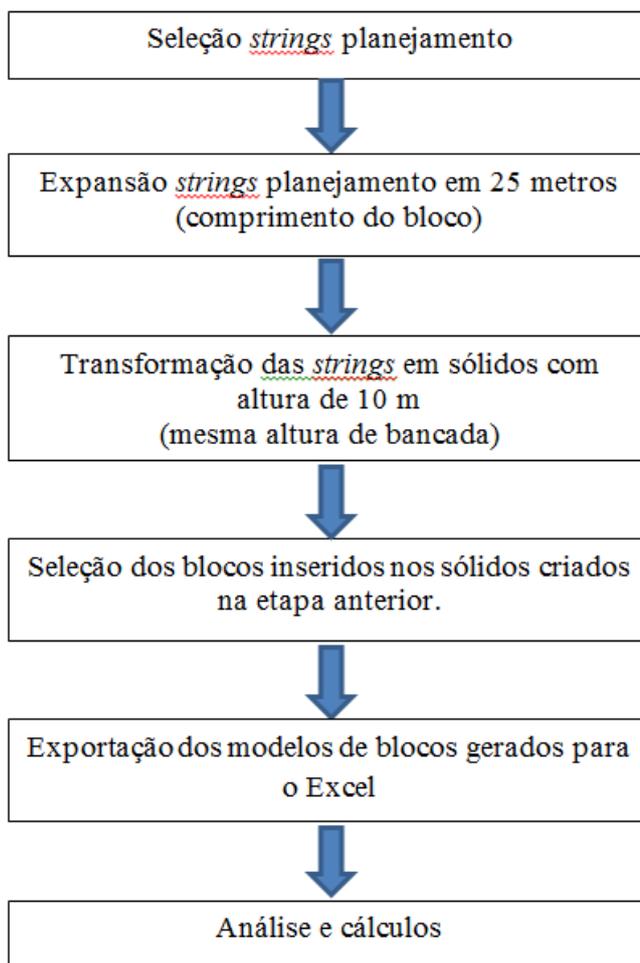
diluição serão utilizados como itens de atenção, ou seja, não serão primordiais para a determinação da diluição.

4.1. Diluição causada pela eficiência de execução

Em planejamento de curto prazo, normalmente são definidos polígonos que delimitam os locais onde deverá ser feita a lavra baseado nas condições que a usina exige, como teor médio de minério e massa total que o beneficiamento é capaz de processar. A demarcação física destes locais no campo pode ser feita através do uso de estacas, bandeiras ou outro tipo de marcação no próprio local. Em empresas que utilizam maior tecnologia em suas operações, diversos equipamentos de lavra contam com sistemas de posicionamento por satélite GPS (*Global Positioning System*). No entanto, mesmo com o uso de recursos tecnológicos, muitas vezes, devido a problemas de operação (como seletividade do equipamento, habilidade do operador, etc.), estes polígonos não são rigorosamente respeitados, ocasionando diferenças em relação ao planejamento. Este aspecto sem dúvida pode ser citado como um dos fatores causadores de problemas durante o processo de reconciliação. A diluição que ocorre devido a estas falhas na execução pode ser calculada através da metodologia demonstrada neste item. Esta diluição pode ser chamada de diluição de curto prazo.

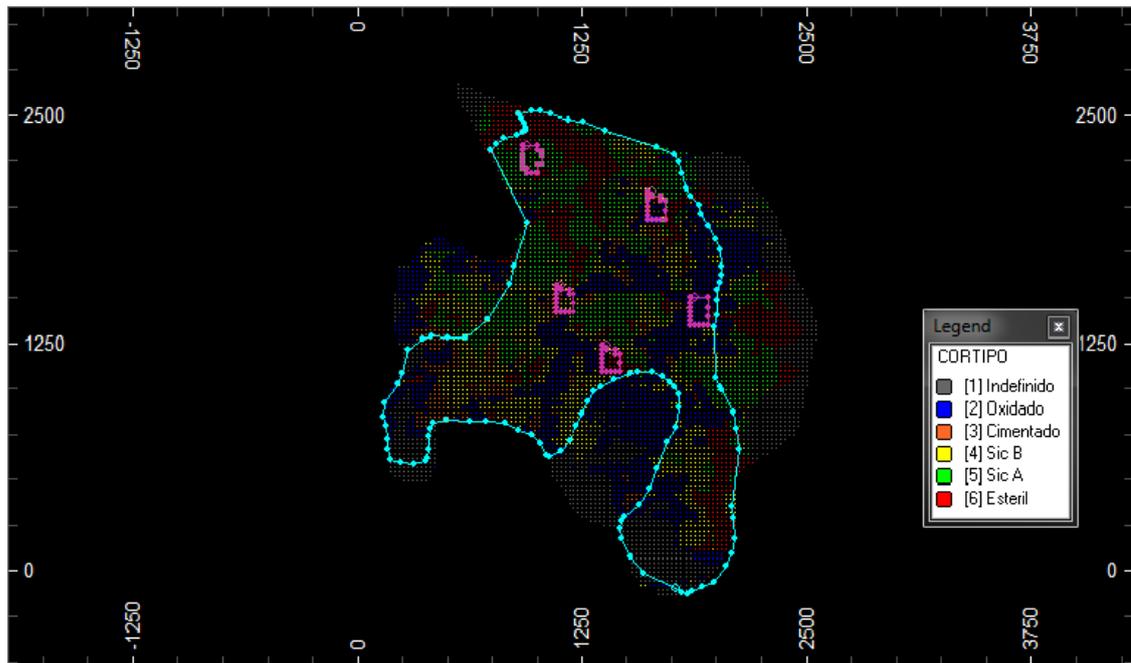
A metodologia proposta para analisar a diluição causada por meio da eficiência de execução da lavra está sintetizada na Figura 24.

Figura 24 - Metodologia utilizada para análise da diluição causada pela eficiência de execução.



Primeiramente, foram selecionados os blocos inseridos dentro dos polígonos de planejamento mensal. Desta forma, se pode saber qual o tipo de rocha presente em cada polígono planejado para ser lavrado. Os polígonos são criados durante o planejamento em forma de linhas, essas poligonais estão contidas em um determinado plano de referência normalmente associados com a base dos blocos do modelo. Posteriormente, esses polígonos são projetados a uma distância equivalente à altura dos blocos ou da bancada de operação. A união das poligonais de base e topo agora configura um sólido que representa o volume a ser retirado a partir dos blocos (ou parcela destes) e a ponderação das massas permite que se calcule o teor médio das variáveis de interesse que se espera que sejam cumpridas. A Figura 25 apresenta uma seção plana do depósito onde pode ser observado o modelo de blocos representado ao fundo pelos prismas em diferentes cores que significam os diferentes tipos de minério presentes no depósito, de acordo com a legenda apresentada. Em rosa aparecem representações do que seriam as áreas de lavra planejadas para um determinado período.

Figura 25 - Polígonos de planejamento inseridos no modelo de blocos.



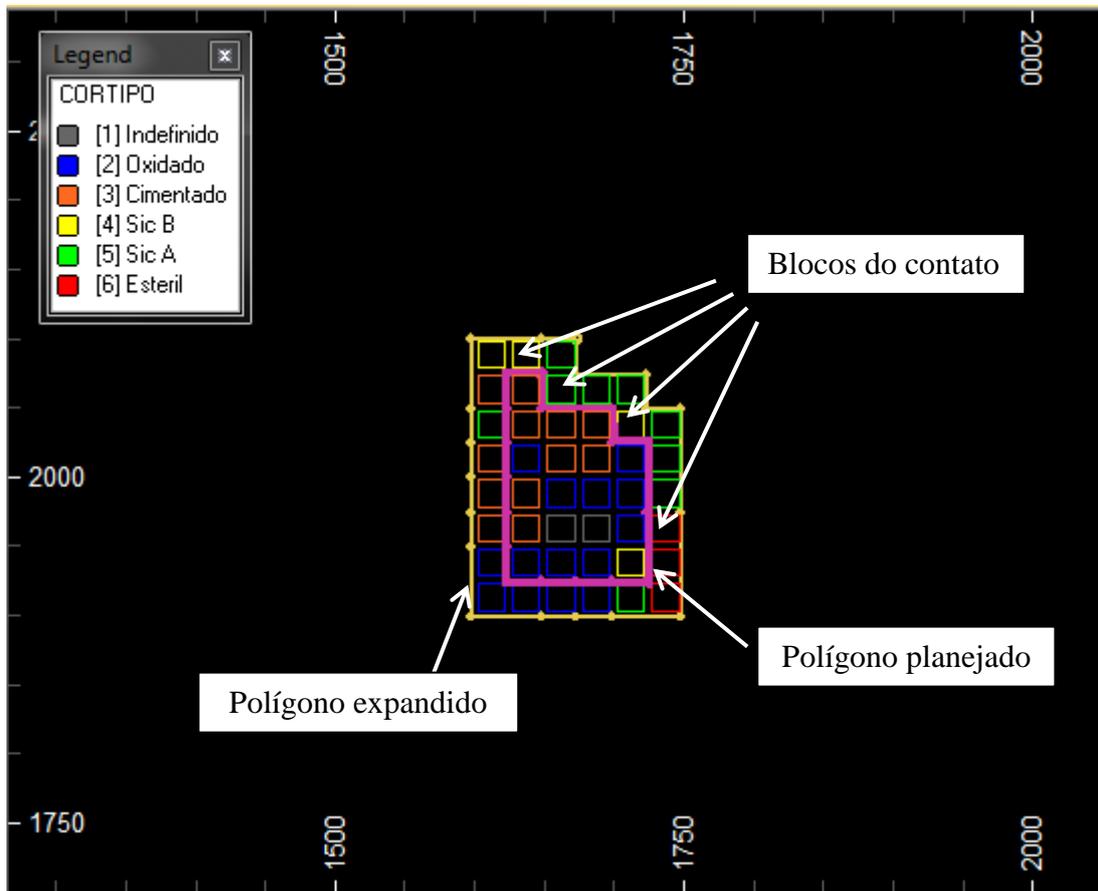
Fonte: Studio 3.

Após a criação dos sólidos advindos dos polígonos de planejamento, é possível fazer a identificação dos blocos que se encontram dentro destes e quais blocos se encontram no contato. Considerando que o processo de escavação ou desmonte é imperfeito, os blocos do contato irão sofrer diluição, pois o equipamento não é capaz de selecionar o bloco exatamente onde o mesmo acaba ou na linha de escavação determinada se esta não coincidir exatamente com o limite dos blocos. Para a definição da diluição, foi considerado que o equipamento engloba 1 metro a mais, a cada bloco que se encontra no contato.

Para um bloco de dimensões x , y e z correspondente a 25m, 25m e 10m, respectivamente, este 1 metro que é adicionado equivale a 4% do total da massa a ser lavrada. Neste exemplo foi considerado que o equipamento retira material a mais para que fosse calculada a diluição, mas também poderia ocorrer do equipamento retirar material a menos, deixar de lavar um local planejado, acarretando assim em perdas. Assim sendo, essa metodologia permite definir tanto a diluição quanto as perdas por bloco dentro de uma área planejada. De posse da envoltória que representa a área de lavra é possível selecionar somente os blocos que se encontram dentro do planejamento mensal. Para identificar quais blocos estão no limite de vizinhança externa do polígono, ou seja, os blocos que irão provocar diluição se estiverem em contato com blocos da poligonal planejada, sejam estes de minério de baixo teor ou estéril, a *string* do polígono foi expandida e transformada em sólido pelo

mesmo processo descrito anteriormente. Após executar a etapa de seleção dos blocos planejados, o processo é repetido para o polígono expandido, para que assim os blocos do contato e seus respectivos teores possam ser identificados (Figura 26).

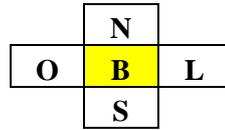
Figura 26 - Blocos localizados no limite de lavra.



Fonte: Studio 3.

As seleções de blocos geradas foram exportadas para o Excel. A primeira etapa foi analisar na planilha do modelo expandido, quais os blocos são os do contato e quais não são. Em seguida, para os blocos do contato, identificar quais blocos são seus adjacentes, e se estes adjacentes são blocos de minério ou estéril. Aos blocos que possuem contato com blocos de estéril, ou minério de baixo teor, a diluição é calculada. A Figura 27 apresenta o bloco em análise e seus respectivos blocos de contato que são as potenciais fontes de diluição.

Figura 27 - Posição do bloco e seus adjacentes, no plano XY.



Considerando que as dimensões nas direções X e Y do bloco são ambas de 25 m e que XC e YC representam as coordenadas do centroide bloco, para a identificação destes blocos vizinhos foi utilizado o método mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Identificação dos blocos adjacentes.

	NORTE (N)	SUL (S)	LESTE (L)	OESTE (O)
XC	XC bloco	XC bloco	XC bloco + 25	XC bloco - 25
YC	YC bloco + 25	YC bloco - 25	YC bloco	YC bloco

Uma vez identificado o bloco, é possível resgatar os outros campos importantes referentes a estes blocos, como tipo de rocha e o próprio teor de P_2O_5AP (teor de fosfato apatítico). Assim, dependendo se o tipo de rocha for diferente do tipo do bloco analisado a diluição pode ser calculada. Sabendo os contatos e os teores correspondentes, calcula-se a diluição dos teores para cada bloco analisado. Este processo de análise faz a avaliação de cada bloco individualmente, mas os resultados podem ser computados em conjunto. A Tabela 11 mostra um exemplo de análise para um bloco específico. Como mostrado, o bloco ao Norte do bloco analisado é um tipo de rocha considerado como minério de baixo teor, então será causador de diluição no teor do bloco original.

Tabela 11 - Identificação dos blocos adjacentes ao bloco analisado.

	XC (m)	YC (m)	ZC (m)	P_2O_5AP (%)	TIPO
Bloco analisado	1687.5	2037.5	1015	18.49	3
Norte	1687.5	2062.5	1015	9.03	5
Sul	1687.5	2012.5	1015	17.37	3
Leste	1712.5	2037.5	1015	9.03	4
Oeste	1662.5	2037.5	1015	20.10	3

A análise mostrada na Tabela 11 foi repetida para todos os blocos que estavam no contato e após calculada a diluição por bloco considerando uma escavação imperfeita avançando um metro no bloco contíguo. Primeiramente é avaliada a localização do bloco, em quais direções este possui contato com blocos não planejados. Em seguida, o tipo de rocha e

teor de P_2O_5AP do contato é analisado, para que a diluição possa ser calculada. Se o tipo de rocha do contato for diferente do tipo de rocha do bloco analisado, então se calcula a diluição. Como dito anteriormente, é considerado que a lavra incorpora 1 metro a mais do bloco adjacente, valor este que também é incorporado ao cálculo da massa total lavrada. Este 1 metro foi definido em função do equipamento utilizado na lavra, entretanto ele pode variar de acordo com as características da operação.

Com os teores diluídos de acordo com o tipo de contato, pode-se calcular a diluição total do planejado. No exemplo testado neste caso, foi planejado lavar a massa total com um teor médio de 10,82%. Após a diluição calculada, chegou-se ao resultado de 10,48% no teor médio. A diferença dos teores é de 0,34%, valor este que corresponde a uma diluição de teores da ordem de 3,12%.

Uma vez que os polígonos referentes aos locais de planejamento e execução não foram fornecidos pela empresa, devido ao fato de a mesma não possuir este controle, estes polígonos foram desenhados com o objetivo de definir esta metodologia.

Estes resultados de diluição apresentam valores consideráveis, o que demonstra que mesmo em locais onde a aderência da reconciliação é bastante satisfatória a diluição pode ocorrer. Neste exemplo a mesma ocorre em função da falta de maior seletividade do equipamento e/ou habilidade do operador. Este fato demonstra a importância da reconciliação entre planejamento e execução da lavra para o controle da diluição, já que se houvessem problemas na reconciliação a diluição seria muito maior.

4.2. Diluição em função da geometria da bancada

O cálculo da diluição em função da geometria de bancada ocorre em função do ângulo de face da bancada e como este ângulo irá afetar na lavra do bloco planejado. Conforme mostrado no exemplo da Figura 8, no Capítulo 2, o bloco é planejado considerando sua forma prismática original, desconsiderando os ângulos de talude e outras características da operação. Portanto, mesmo para aqueles blocos do limite interno da poligonal na bancada que foram planejados e de fato executados, irá ocorrer diluição em função da geometria. Entretanto, é importante observar que a diluição terá mais influência quando o contato entre os blocos for de diferentes tipos de rocha, ou seja, se o contato for minério/ minério (de mesmo teor) ou

estéril/estéril a diluição não terá significado. Também deve ser salientado que este tipo de diluição também será dependente do local onde o bloco se encontra, pois uma vez que ele sofre a diluição ou a perda na lavra, depois poderá ser compensado quando da lavra dos blocos contíguos a ele.

Para o exemplo do cálculo da diluição para o estudo de caso, tem-se que:

Ângulo de face = 60°

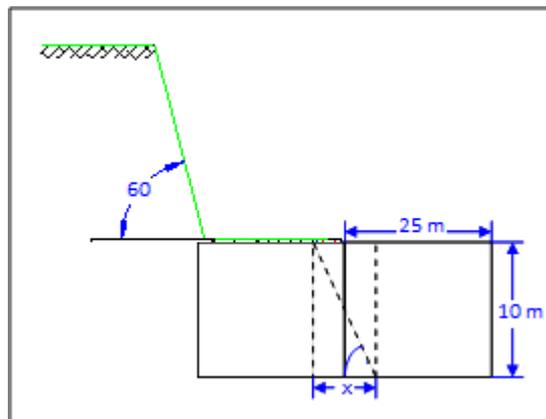
Altura do bloco = 10 m

Largura do bloco = 25 m

Teor do bloco avaliado = 6%

Teor do bloco contíguo = 0 %

Figura 28 - Diluição lateral.



Se o contato entre os blocos for minério/estéril, o valor da diluição será correspondente ao volume do prisma triangular formado pela configuração do talude. No caso do exemplo da Figura 28, o valor encontrado por meio dos cálculos demonstrados no exemplo do Capítulo 2, foi de aproximadamente, 3 metros. A influência destes 3 metros corresponde à perda de 6% da massa total do bloco, ou seja, 6% de massa de minério que deixa de ser lavrada e 6% de massa de estéril que é incorporada ao bloco de minério. Esta diluição afeta o teor médio do bloco, passando de 6% para 5,6% de P_2O_5 , além de enviar para usina material estéril, o que diminuirá a reconciliação do planejamento com a usina.

Supondo que o contato entre os blocos seja minério/minério de baixo teor, a diluição também irá afetar o teor médio do bloco. Um exemplo de um bloco de minério com massa

total de 6250 toneladas, que possui teor médio de 6% de P_2O_5 em contato com um bloco de baixo teor, com teor médio equivalente a 4% de P_2O_5 irá sofrer diluição no teor médio. Este bloco que foi planejado com determinado teor (6%) e lavrado de maneira correta, na verdade apresentará um teor de 5,8% quando lavrado. Considerando que o teor de corte utilizado é de 6% P_2O_5 , um bloco que antes era lavrado como minério, após ser diluído estará abaixo deste valor, assim sendo definido como estéril. Esta pequena variação no teor pode afetar o planejamento mensal total.

A diluição causada pela configuração da bancada afeta somente os blocos localizados no contato da poligonal de lavra, uma vez que os blocos localizados no centro do polígono serão lavrados com essa diferença, mas após serão compensados quando os blocos adjacentes a este também forem lavrados.

4.3. Fator de diluição

Relatórios técnicos de outras empresas que possuem características similares às do depósito do estudo de caso em questão, demonstram como a diluição pode ser inserida no planejamento e em qual etapa esta é considerada. Podem ser citados como exemplos, relatórios técnicos de empresas como Abcourt Barvue (2007) e Agnico-Eagle Mines (2005), que possuem depósitos que operam em lavra a céu aberto, possuem altura de bancada semelhante à do depósito do estudo de caso e utilizam um fator de diluição de 10%. Ambos os estudos demonstram que o fator de diluição não é aplicado ao modelo de estimativa de recursos, mas sim no modelo de estimativa de reservas, para que este seja mais próximo da realidade quando executado.

O relatório técnico da Yamana para o *Gualcamayo Gold Project* (2007) demonstra bem como a diluição é implantada. O tamanho do bloco do modelo de estimativas corresponde com a altura de bancada, 10 metros. São considerados dois tipos de diluição, a interna e a externa. A diluição interna não é dependente de nenhuma característica da operação, este tipo de diluição é inerente ao processo; esta diluição é inserida no modelo de estimativas. Já a diluição externa é calculada, levando em conta as características geométricas e de operação. No projeto apresentado no relatório técnico da Yamana, a diluição é calculada para cada bloco individualmente, com o objetivo de ter uma estimativa das reservas totais do

depósito. Esse tipo de implantação pode ter impactos não mensuráveis em função da relação de contatos entre os blocos podendo conduzir a penalidades adicionais aos blocos.

Como o objetivo deste estudo é diferente, a diluição não foi calculada para cada bloco em questão, mas sim para determinado local e determinada característica para controle de teores de curto prazo.

Para a diluição interna, o valor pode ser calculado baseado em referências de outros depósitos com características similares às do estudo de caso, de fatores condicionantes e de fatores subjetivos que levam a uma diluição alta, média ou baixa. Dentre estes fatores condicionantes podem ser citados tipo de desmonte, método de lavra, espessura do corpo de minério, altura de bancada entre outros; como fatores subjetivos são citados a experiência da empresa e do operador. A combinação destes fatores juntamente com a diluição externa leva a um fator de diluição a ser aplicado ao modelo de estimativas.

Figura 29 - Planilha de cálculo para o fator de diluição.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Fatores Condicionantes		Fatores Objetivos - Geometria			Fator de diluição	
Geologia	Simplex	Tamanho do bloco (m)	x	y	z	16%
Contato	Gradacional		25	25	10	
Equipamento	Médio	Ângulo de face do talude (°)	60			
Método de lavra	Desmonte mecânico	Diluição geométrica				6%
Mergulho do Corpo (°)	40 x 60	Fatores Subjetivos - Experiência				
Altura de Bancada (m)	8 x 12	Tempo de operação	bastante			
Espessura	Intermediária	Experiência do operador	experiente			
Tecnologia	demarcação topografia					

De acordo com as escolhas feitas para as características do depósito, a planilha mostrada na Figura 29 calcula o fator de diluição. Algumas vezes, variando mais de um item, é possível que ocorra um resultado semelhante ao encontrado para uma característica diferente, já que os fatores condicionantes determinam a diluição através da combinação entre eles mesmos, e não por suas análises individuais. A Tabela 12 mostra a contribuição de cada item dos fatores condicionantes no peso para o cálculo do fator de diluição. Com base em referências de diversos relatórios técnicos foi definido que para lavra a céu aberto os valores para baixa, média e alta diluição, correspondem a respectivamente, 5%, 10% e 15%.

Tabela 12 - Quantificação da diluição, fatores condicionantes.

	Diluição	Baixa	Média	Alta
Geologia	Simples	x		
	Intermediária		x	
	Complexa			x
Contato	Bem definido	x		
	Gradacional		x	
	Difuso			x
Equipamento (porte)	Pequeno	x		
	Médio		x	
	Grande			x
Método de lavra	Desmonte mecânico	x		
	Desmonte com explosivos			x
Mergulho do Corpo (°)	60 a 80	x		
	40 a 60	x		
	20 a 40		x	
	10 a 20			x
Altura de Bancada (m)	2 a 4	x		
	4 a 8		x	
	8 a 12		x	
	12 a 16			x
	16 a 20			x
Espessura do corpo de minério	Espessa	x		
	Intermediária		x	
	Pouco espessa			x
Tecnologia	Uso de GPS e tecnologias mais avançadas	x		
	Demarcação topográfica		x	
	Pouco uso de tecnologia			x

Como fatores subjetivos, foram considerados o tempo de operação da empresa e a experiência do operador. Estes fatores são considerados subjetivos, pois se supõe que quanto mais tempo de operação e mais tempo de experiência do operador, terá menos diluição, uma vez que o controle e conhecimento sobre a operação estará sistematizado. A Tabela 13, mostra os pesos dos fatores subjetivos.

Tabela 13 - Quantificação da diluição, fatores subjetivos.

Diluição		Baixa	Média	Alta
Tempo de operação	Bastante	x		
	Intermediário		x	
	Pouco			x
Experiência do operador	Experiente	x		
	Intermediário		x	
	Pouco experiente			x

Neste estudo de caso o fator de diluição não considerou a diluição causada pela eficiência de execução, uma vez que os polígonos de lavra foram simulados para definição desta metodologia, e os mesmos não correspondem aos dados utilizados no restante do trabalho. Esta opção de desenhar os polígonos foi feita com o objetivo de definir uma metodologia de análise da diluição devido às falhas de execução, porém como os dados não representam dados reais (os mesmos utilizados no restante do trabalho), esta diluição não foi considerada.

Se o fator de diluição calculado através da planilha mostrada na Figura 29, fosse aplicado ao modelo de estimativas utilizado para a reconciliação realizada no Capítulo 3, a aderência entre o planejado e o executado apresentaria uma grande melhora, conforme mostram as Tabela 14 e Tabela 15. A inclusão deste elemento permite avaliar ainda quais outros aspectos estão gerando discrepâncias, sendo que as diferenças entre estes ficariam mais a cargo de problemas de operação e dificuldades de lavra em determinado local.

Tabela 14 - Aderência entre tonelagem estimada diluída com tonelagem executada. (planos mensais)

	Massa (t)	Aderência
Planejado (diluído)	3.480.120	72%
Executado	2.527.425	

Tabela 15 - Aderência entre tonelagem estimada diluída com tonelagem executada. (planos trimestrais)

	Massa (t)	Aderência
Planejado (diluído)	2.824.900	89%
Executado	2.527.425	

Este algoritmo de determinação do fator de diluição proposto na Figura 29 pode ser testado para outro depósito. Por exemplo, esse algoritmo foi aplicado para os dados de um depósito da empresa Abcourt-Barvue onde o valor encontrado para o fator de diluição através da planilha foi diferente do proposto pela empresa. O relatório técnico desta sugere um valor de 10% de diluição, porém não é um valor calculado, apenas sugerido com base em outros depósitos similares.

As características disponíveis no relatório técnico se encontram na Tabela 16. Por não existir informação a respeito dos fatores subjetivos, estes foram deixados na melhor situação, a menos causadora de diluição, para que o fator calculado não ficasse distorcido.

Tabela 16 - Características do depósito Abcourt-Barvue.

	Diluição	Baixa	Média	Alta
Geologia	Intermediária		x	
Contato	Gradacional		x	
Equipamento (porte)	Pequeno	x		
Método de lavra	Desmonte com explosivos			x
Mergulho do Corpo (°)	60 a 80	x		
Altura de Bancada (m)	8 a 12		x	
Espessura do corpo	Espessa	x		
Tecnologia	Demarcação topográfica		x	
Tempo de operação	Bastante	x		
Experiência do operador	Experiente	x		

De posse destas características, o fator de diluição foi encontrado. A Figura 30 mostra o valor encontrado, de 15%. É uma diferença significativa, que pode impactar negativamente no planejamento.

Figura 30 - Fator de diluição para Abcourt-Barvue.

Fatores Condicionantes	Fatores Objetivos - Geometria	Fator de diluição						
Geologia: Intermediária	Tamanho do bloco (m): <table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>15</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	x	y	z	15	15	10	15%
x	y	z						
15	15	10						
Contato: Gradacional	Ângulo de face do talude (°): 60							
Equipamento: Pequeno	Diluição geométrica: 10%							
Método de lavra: Derrame com explosivos	Fatores Subjetivos - Experiência							
Mergulho do Corpo (°): 60 a 80	Tempo de operação: bastante							
Altura de Bancada (m): 8 a 12	Experiência do operador: experiente							
Espessura: Espessa								
Tecnologia: demarcação topográfica								

Nota-se que o valor dado pelos fatores condicionantes e subjetivos é pequeno, a maior influência na diluição neste caso é causada pela diluição geométrica. Uma maneira de correção deste problema seria mudar o tamanho do bloco ou o ângulo de face do talude. A Figura 31 demonstra que se o tamanho do bloco for aumentado nas dimensões x e y o fator de diluição diminui para 11%.

Figura 31 - Diluição geométrica para Abcourt-Barvue.

Fatores Objetivos - Geometria	Fator de diluição						
Tamanho do bloco (m): <table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>25</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	x	y	z	25	25	10	11%
x	y	z					
25	25	10					
Ângulo de face do talude (°): 60							
Diluição geométrica: 6%							

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo apresenta as conclusões obtidas através da aplicação da metodologia e os resultados obtidos para o estudo de caso. Também é apresentada uma revisão dos tópicos abordados no decorrer do trabalho, bem como considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

O objetivo dessa dissertação foi desenvolver uma abordagem que permita a determinação da diluição para ser utilizada no planejamento de lavra levando em consideração diversas particularidades do depósito. Para isso, foi realizada a reconciliação de teor e massa entre o planejamento de longo prazo e o executado. A metodologia foi aplicada a um estudo de caso, para que os resultados pudessem ser avaliados. Os objetivos previamente definidos no Capítulo 1 foram cumpridos:

- i. A rotina para automatização do processo de reconciliação na lavra foi desenvolvida;
- ii. Foi realizada a reconciliação entre a tonelagem prevista no planejamento de lavra e a quantidade de material efetivamente lavrado;
- iii. Os problemas de falta de aderência na reconciliação e sua influência na diluição e nas perdas foram identificados e a parcela de contribuição da diluição nessas discrepâncias foi contemplada;
- iv. A rotina para incorporar o fator de diluição ao planejamento de lavra foi desenvolvida.

5.1. Conclusões

O aumento da aderência na reconciliação é consequência do controle de alguns fatores: amostragem realizada de maneira sistemática; padrões e localização bem definida; uso de equipamentos compatíveis; entre outros. Sabendo identificar quais são as razões da

baixa aderência na reconciliação, bem como o local que esta ocorre, é possível aumentar significativamente o controle dos dados planejados, assim, podendo resultar numa boa estimativa de teores e massa de minério que serão beneficiados na usina. No presente estudo de caso, os valores encontrados na reconciliação se mostraram baixos, mas este fato não foi devido somente a questões do planejamento, mas sim, principalmente, a questões operacionais, áreas definidas no planejamento para serem lavradas não poderem ser acessadas, bem como respostas inadequadas de determinado tipo de rocha na usina de beneficiamento. Estas questões operacionais apontam para erros de planejamento e falta de integração entre equipes de operação e planejamento. Estes aspectos específicos puderam ser analisados uma vez que a reconciliação foi feita, já que com os baixos resultados, procurou-se saber o motivo da baixa aderência.

A utilização de um fator de diluição no modelo de estimativas, antes mesmo de ser feita a lavra é uma maneira de prever teores e massas mais próximos aos executados de fato. Quando um modelo de blocos (estimativas) é feito e a diluição real não é considerada, um número arbitrário é definido para ser a diluição do modelo. Este valor arbitrário muitas vezes não representa os fatores realmente causadores de diluição, bem como é aplicado ao todo e não somente aos locais em que esta é mais provável de ocorrer. Uma boa maneira de definir o fator de diluição a ser aplicado às estimativas é verificar a forma como este é considerado em outros depósitos, quais as condições de operação e semelhanças com o depósito estudado e se este fator está representativo na reconciliação das estimativas com as massas e teores produzidos.

Além de basear o fator de diluição em outros depósitos semelhantes, a consideração da geometria do local, das bancadas e ângulo de face especificamente, e da eficiência de execução foram os itens que realmente determinaram o cálculo do fator de diluição. As dificuldades encontradas no cálculo da diluição ocorreram em função de como determinar a influência (e peso) de cada item no fator final. É sabido que cada característica vai contribuir com um peso neste cálculo, porém é a combinação destas – e não a soma – que vai determinar o fator a ser utilizado. Procurou-se fazer uma abordagem simples e direta de um parâmetro que sabidamente é complexo e de difícil controle, sendo que a maioria das empresas do setor mineral ou simplesmente desconsidera esse efeito ou quando considera usa um fator de forma inadvertida e obscura ao aplicar um número fixo para todo o depósito sem as devidas considerações de origem e consequências que essa escolha pode provocar para depósitos que possuem contextos diferenciados.

A implantação da rotina de construção e automatização de *scripts* que controlam a reconciliação e a diluição permitiu um conhecimento técnico de detalhe dos fatores que mais comprometem a efetividade dos modelos de estimativas como instrumentos de planejamento de lavra. Esses fatores são: os operacionais na mina como, por exemplo, a medição das massas lavradas (balança e topografia); a confiabilidade das análises granulométricas fornecidas pelo laboratório; os parâmetros geoestatísticos fornecidos por variogramas; entre outros.

O processo de reconciliação realizado de uma maneira sistemática fornece uma resposta satisfatória no controle dos dados, assim como na rapidez de execução do mesmo. É importante salientar que o uso da reconciliação como um caminho para controlar o planejamento de mina resulta em melhoras em toda a cadeia de operações, além de facilitar a identificação de problemas. A construção da rotina da reconciliação envolvendo os processos realizados no *software* Studio 3, e as planilhas de cálculo no Excel foi uma metodologia considerada satisfatória, já que forneceu um resultado adequado ao nível de diluição compatível com o processo de lavra a céu aberto, mas raramente mensurado e abordado de forma sistemática como desenvolvido nesse trabalho.

A análise da diluição causada pela eficiência de execução por meio do uso de planilhas e da metodologia definida no Capítulo 4 mostrou-se bastante satisfatória, podendo identificar os contatos dos blocos planejados e através dos teores destes, calcular a diluição para o planejado. A planilha que calcula um fator de diluição baseado em características do depósito também apresentou um resultado positivo, uma vez que pode ser utilizada para outros tipos de depósitos, ou até mesmo para o mesmo depósito, caso mude alguma característica da operação ou existam variações dos fatores condicionantes.

O desenvolvimento de rotinas para automatizar os processos de reconciliação e diluição funcionou como uma maneira para tornar estes processos mais rápidos de serem realizados - já que deverão ser repetidos a cada nova análise de determinado período - além de torná-los auditáveis, uma vez que os dados podem ser facilmente reproduzidos e conferidos quando necessário.

5.2.Recomendações

Para trabalhos futuros é indicado que esta metodologia seja aplicada a outros depósitos minerais, para que se possa verificar a influência da diluição conforme as diferentes características do depósito.

Além disso, para o cálculo da diluição externa os fatores considerados foram somente a geometria do local (bancada e ângulo de face) e eficiência de execução da operação. A consideração de outros fatores geradores de diluição neste cálculo é válida, uma vez que neste trabalho estes itens entraram apenas como fatores condicionantes. Estes itens vão garantir mais embasamento no cálculo, além de tornar o processo mais completo. Podem ser citados como fatores que acarretam em diluição e foram considerados como fatores condicionantes neste estudo, os seguintes itens:

- Zonas de limite de cava;
- Densidade amostral;
- Contato entre blocos;
- Condições de operação;
- Entre outros.

Cada um destes fatores representa um peso no cálculo da diluição, porém a combinação destas características do depósito e da operação é o que vai determinar o fator de diluição a ser aplicado às estimativas, uma vez que se fosse considerada a soma da influência da diluição de cada um desses itens, o valor encontrado seria muito alto.

A sequência natural deste trabalho é a realização da reconciliação entre outras etapas da lavra e usina, além da realização da reconciliação de teores e massas após a aplicação do fator de diluição ao modelo de estimativas.

REFERÊNCIAS

- Agnico-Eagle Mines Limited. **Technical report on the estimation of mineral resources and reserves for the goldex extension zone, Goldex Project.** Canadá, 2005, 171p.
- Blucher, I. D. **Reconciliation — Towards an Ideal Process.** Value Tracking Symposium, Brisbane, Australia, 2002, p. 187 – 189.
- Butcher, R. J. **Dilution Control in Southern African Mines.** MassMin 2000, Brisbane, Australia, 2000, p. 113 – 118.
- Chierigati, A. C. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de doutorado, 2007, 201p.
- Crawford, G. D. **Dilution and Ore Recovery,** Pincock Perspectives, Issue n° 60, 2004, 4p.
- Dagdelen, K. **Mining dilution in geostatistical ore reserve estimation.** SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, EUA, 1996, 20 p.
- David, M., Toh, E. **Grade control problems dilution and geostatistics: choosing the required quality and number of samples for grade control.** CIM Bulletin, 1989, 7 p.
- Dominy, S. C., Noppé, M. A. **Errors and Uncertainty in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The Importance of Getting it Right.** Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2004, p. 77–98.
- Elbrond, J. **Economic Effect of Ore Loss and Rock Dilution.** CIM Bulletin, 1994, p. 1–8.
- Fouet, T., Riske, R., Morley, C., Cook, A., Conti, D., &Centofanti, J. **Standardising the Reconciliation Factors Required in Governance Reporting,** Seventh International Mining Geology Conference, Perth, Australia, 2009, p. 127–139.
- Gerência de Geologia e Planejamento de Longo Prazo, Departamento do Cobre, Vale. **Diluição, Seletividade e Dimensionamento de Equipamentos.** Relatório interno. 2010, 92 p.
- Genivar. **Abcourt-Barvue project. Barraute, Quebec. Technical feasibility study report on the AbcourtBarvue deposit.** Report by GENIVAR and BUMIGEME to Abcourt Mines Inc. 2007, 167 p. and appendices.

- Gilfilan, J.F. and Levy, I.W. **Monitoring the reserve**. In Mineral Resource and Ore Reserve Estimation — The AusIMM Guide to Good Practice, Monograph 23. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001, p. 537-543.
- Godoy, M. C. **Minimização de perdas em Operações de Lavra Seletiva Incorporando a Incerteza da Estimativa no Controle de Teores**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 1997. 91p.
- Jara, R. M., Couble, A., Emery, X., Magri, E. J., & Ortiz, J. M. **Block size selection and its impact on open-pit design and mine planning**. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2006, p. 205–212.
- Leuangthong, O., Neufeld, C., & Deutsch, C. V. **Optimal Selection of Selective Mining Unit (SMU) Size**. International Conference on Mining Innovation (MININ). Santiago, Chile, 2004, p. 1 – 16.
- McAra, J. **Technical Report on the Gualcamayo Property - San Juan Province, Argentina**. 2007, 285p.
- Morley, C. **Beyond Reconciliation — A Proactive Approach to Using Mining Data**. Fifth Large Open Pit Mining Conference. Austrália, 2003, p. 185 – 192.
- Morley, C., Thompson, K. **Extreme Reconciliation — A Case Study from Diavik Diamond Mine**. 6th International Mining Geology Conference, Canada, 2006, p. 21 - 23.
- Noppé, M. **Reconciliation: importance of good sampling and data QA-QC**. Mining and Resource Geology Symposium, XYZ, EGRU Contribution No 62, 2004, 7p.
- Omega Geo-Consulting. **On mine-to-mill reconciliation**. Omega Geo-Consulting Pty Ltd, Australia, 2005. Disponível em: <<http://www.omegageo.com/pdfs/omega-tp-10.pdf>>. Acesso em 13 março de 2013.
- Pakalnis, R. C., Poulin, R., & Hadjigeorgiou, J. **Quantifying the cost of dilution in underground mines**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. Volume 33, N° 5, 1996, p. 1136 - 1141.

- Parreira, J., Mullard, Z., & Meech, J. **How Automation and Key Performance Indicators (KPI'S) contribute to sustainable.** Second International Conference on Multinational Enterprises and Sustainable Development, Nancy-Mets, France, 2009, p. 1- 12.
- Peroni, R. de L. **Análise da sensibilidade do sequenciamento de lavra em função da incerteza do modelo geológico.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de doutorado, 2002, 126p.
- Reh, F. J. **Key Performance Indicators (KPI) - How an organization defines and measures progress toward its goals.** About.com Guide. Disponível em: <<http://management.about.com/cs/generalmanagement/a/keyperfindic.htm>> Acesso em 05 de abril de 2013.
- Riske, R., Mark, P. De, & Helm, S. **Mine reconciliation – for better or worse!** Proceedings The Canadian Institute Mining Metallurgy and Petroleum (CIM) Conference. Vancouver, Canadá, 2010.
- Sinclair, A. J., Blackwell, G. H. **Applied Mineral Inventory Estimation.** Cambridge: Cambridge University Press, 2004, 401 p.
- Stone, J. G., Ranta, D. E. **Contact dilution in ore reserve estimation.** Applied Mining Geology: General Studies Problems of Sampling & Grade Control Ore Reserve Estimation. Carson City, Nevada, 1992, cap 14, p. 154 - 166.
- Swanepoel, W. **The influence of bench height and equipment selection on effective mineral resource utilization.** University of Pretoria. Dissertação de mestrado, 2003, 126 p.
- Thomas, M., Snowden, V. **Improving Reconciliation and Grade Control by Statistical and Geostatistical Analysis.** Strategies for grade control, AIG Bulletin 10, p. 49 - 59, 1990.
- Tomlinsong, P. D. **Achieving world class maintenance status.** Maintenance Technology, 2006. Disponível em: < <http://www.mt-online.com/november2006/achieving-world-class-maintenance-status>>. Acesso em 05 de abril de 2013.
- Torres M. G. & Gaspar J. C., **Geoquímica do manto de intemperismo da mina de fosfato do complexo alcalino-carbonatítico do Barreiro, Araxá-MG.** V Congresso Brasileiro

de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, Niterói/RJ, 1995.

Villaescusa, E. **Geotechnical design for dilution control in underground mining**. Proc. Seventh International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, Balkema, Rotterdam, 1998, p.141-149.

Wetherelt, A., Wielen, K. P. Van Der. In P. DARLING (Ed.), **SME - Mining Engineering Handbook**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2011, SME - Cap. 10.1. Terceira edição, p. 857–876.

Anexo A

Esse anexo contém a descrição detalhada do código para execução dos *scripts* mostrados no Capítulo 3.

A.1 – Script que cria modelo de blocos entre as topografias:

```
<html>
<head>
<META name=VI60_defaultClientScript content=JavaScript>
<meta http-equiv="Content-Language" content="en-gb">
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 6.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>criar mod blocos</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="../../DMTutorials/Projects/S3ScriptTut/Scripts/dmstyle.css">
<SCRIPT ID=clientEventHandlersJS LANGUAGE=javascript>
<!--
varoDmApp= null;
varoScript = null;
varoDmBrowser;
functionwindow_onload() {
AutoConnect();
}
functionAutoConnect() {
oScript = new ActiveXObject("DatamineStudio.ScriptHelper");
oScript.initialize(window);
oDmApp = oScript.getApplication();
if (oDmApp== null)
return false;
else
```

```

return true;

}

functionbtnOK_onclick()

{

    try    {

        if (!AutoConnect())

            return;

        ;

        oDmApp.ParseCommand("wirefill&PROTO="+tbOutputFile.value+ "WIRETR="+tbInputFile.value+
&WIREPT="+tbInputFile0.value+ " &MODEL=TMP1 *ZONE=BDEZ10 @ZCODE=1 @WIRETYPE=2
@CELLXMIN=2.5 @CELLXMAX=25 @CELLYMIN=2.5 @CELLYMAX=25 @CELLZMIN=2.5
@CELLZMAX=10");

        oDmApp.ParseCommand("wirefill&PROTO="+tbOutputFile.value+"WIRETR="+tbInputFile2.value+
&WIREPT="+tbInputFile1.value+ " &MODEL=TMP2 *ZONE=AJUN11 @ZCODE=1 @WIRETYPE=3
@CELLXMIN=2.5 @CELLXMAX=25 @CELLYMIN=2.5 @CELLYMAX=25 @CELLZMIN=2.5
@CELLZMAX=10");

        oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=tmp1&IN2=tmp2 &OUT=TMP3 @TOLERNCE=0.001");

        oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=tmp3&IN2="+tbOutputFile.value+"&OUT=TMP4
@TOLERNCE=0.001");

        oDmApp.ParseCommand("copy&IN=tmp4&OUT="+tbOutputFile0.value+" { BDEZ10=1,AJUN11=1 }"
);

        oDmApp.ActiveProject.Deletefile('tmp1'); // Remove arquivos temporários

        oDmApp.ActiveProject.Deletefile('tmp2'); // Remove arquivos temporários

        oDmApp.ActiveProject.Deletefile('tmp3');

        oDmApp.ActiveProject.Deletefile('tmp4');

    }

    catch(e) {

        alert("Failed\nReason: " + e.description);

    }

}

functionDisplayBrowser() {

oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;

oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmWireframe;

oDmBrowser.Show(false);

returnoDmBrowser.FileName;

}

```

```
function DisplayBrowser2() {  
    oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;  
    oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmWireframePoint;  
    oDmBrowser.Show(false);  
    return oDmBrowser.FileName;  
}  
  
function DisplayBrowser3() {  
    oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;  
    oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmBlockModel;  
    oDmBrowser.Show(false);  
    return oDmBrowser.FileName;  
}  
  
function btnBrowse1_onclick() {  
    tbInputFile.value = DisplayBrowser();  
}  
  
function btnBrowse2_onclick() {  
    tbInputFile0.value = DisplayBrowser2();  
}  
  
function btnBrowse5_onclick() {  
    tbInputFile2.value = DisplayBrowser();  
}  
  
function btnBrowse4_onclick() {  
    tbInputFile1.value = DisplayBrowser2();  
}  
  
function btnBrowse3_onclick() {  
    tbOutputFile.value = DisplayBrowser3();  
}
```

A.2 – Script que calcula os Indicadores Chave de Desempenho:

```

<html>
<head>
<META name=VI60_defaultClientScript content=JavaScript>
<meta http-equiv="Content-Language" content="en-gb">
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 6.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>BBrowse and Copy</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="../../../../mariana/dmstyle.css">
<SCRIPT ID=clientEventHandlersJS LANGUAGE=javascript>
<!--
varoDmApp= null;
varoScript = null;
varoDmFile = null;
varoDmBrowser;
varpathProject = null;
functionwindow_onload() {
AutoConnect();
}
functionAutoConnect() {
oScript = new ActiveXObject("DatamineStudio.ScriptHelper");
oScript.initialize(window);
oDmApp = oScript.getApplication();
if (oDmApp== null)
return false;
else
return true;
}
functionbusca_String() {

```

```

oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;

oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmString;

oDmBrowser.Show(false);

returnoDmBrowser.FileName;

}

functionbusca_Wireframe() {

oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;

oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmWireframe;

oDmBrowser.Show(false);

returnoDmBrowser.FileName;

}

functionbusca_modelo() {

oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;

oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmBlockModel;

oDmBrowser.Show(false);

returnoDmBrowser.FileName;

}

function pbt1_onclick() {

    PTX1.value = busca_Wireframe();

varcomprimento = PTX1.value.length;

    PTX2.value = PTX1.value.slice(0,comprimento-2) + "pt";

}

function pbt2_onclick() {

    PTX13.value = busca_Wireframe();

        varcomprimento = PTX13.value.length;

    PTX14.value = PTX13.value.slice(0,comprimento-2) + "pt";

}

function pbt3_onclick() {

    PTX3.value = busca_Wireframe();

varcomprimento = PTX3.value.length;

```

```

    PTX4.value = PTX3.value.slice(0,comprimento-2) + "pt";
}

function pbt5_onclick() {

    PTX5.value = busca_String();

}

function pbt6_onclick() {

    PTX10.value = busca_modelo();

}

function pbt4_onclick() {

    PTX9.value = busca_modelo();

}

function BotPilha_onclick() {

    try    {

        var delta=100/20;

        ProgressBar1.value=0;

        oDmApp.ParseCommand("selexy&IN="+PTX10.value+" &PERIM="+PTX5.value+" &OUT=mod1
*X=XC *Y=YC @OUTSIDE=0 @PRINT=0");

        ProgressBar1.value += delta;

        //Criação do Modelo Realizado

        oDmApp.ParseCommand("trifil&PROTO=mod1&WIRETR="+PTX1.value+"&WIREPT="+PTX2.val
ue+" &MODEL=temp1 *ZONE=TOP1 @MODLTYPE=3 @ZONE=1 @MAXDIP=0 @SPLITS=0
@PLANE='XY'@XSUBCELL="+PTX6.value+"@YSUBCELL="+PTX7.value+"@ZSUBCELL="+PTX8.valu
e+" @RESOL=0");

        ProgressBar1.value += delta;

        oDmApp.ParseCommand("trifil&PROTO=mod1&WIRETR="+PTX3.value+"&WIREPT="+PTX4.val
ue+" &MODEL=temp2 *ZONE=TOP2 @MODLTYPE=4 @ZONE=2 @MAXDIP=0 @SPLITS=0
@PLANE='XY'@XSUBCELL="+PTX6.value+"@YSUBCELL="+PTX7.value+"@ZSUBCELL="+PTX8.valu
e+" @RESOL=0");

        ProgressBar1.value += delta;

        oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=temp1&IN2=temp2 &OUT=temp3 @TOLERNCE=0.001");

        ProgressBar1.value += delta;

        oDmApp.ParseCommand("extra &IN=temp3 &OUT=temp4 @APPROX=0 @PRINT=0"+
" "TOP3=TOP1+TOP2"+

```

```

" 'GO");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=mod1&IN2=temp4 &OUT=temp5 @TOLERNCE=0.001");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("copy &IN=temp5 &OUT=temp6 {TOP3=3}");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("extra &IN=temp6 &OUT=temp7 @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'erase(TOP1)"+
" 'erase(TOP2)"+
" 'erase(TOP3)"+
" 'ADER1=1"+
" 'GO");

ProgressBar1.value += delta;

//Criação do Modelo Planejado

oDmApp.ParseCommand("trifil&PROTO=mod1&WIRETR="+PTX1.value+"&WIREPT="+PTX2.val
ue+" &MODEL=temp8 *ZONE=TOP1 @MODLTYPE=3 @ZONE=1 @MAXDIP=0 @SPLITS=0
@PLANE='XY'@XSUBCELL="+PTX6.value+"@YSUBCELL="+PTX7.value+"@ZSUBCELL="+PTX8.valu
e+" @RESOL=0");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("trifil&PROTO=mod1&WIRETR="+PTX13.value+"&WIREPT="+PTX14.
value+" &MODEL=temp9 *ZONE=TOP2 @MODLTYPE=4 @ZONE=2 @MAXDIP=0 @SPLITS=0
@PLANE='XY'@XSUBCELL="+PTX6.value+"@YSUBCELL="+PTX7.value+"@ZSUBCELL="+PTX8.valu
e+" @RESOL=0");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=temp8&IN2=temp9&OUT=temp10@TOLERNCE=0.001");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("extra &IN=temp10 &OUT=temp11 @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'TOP3=TOP1+TOP2"+
" 'GO");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=mod1&IN2=temp11&OUT=temp12@TOLERNCE=0.001");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("copy &IN=temp12 &OUT=temp13 {TOP3=3}");

```

```

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("extra &IN=temp13 &OUT=temp14 @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'erase(TOP1)"+
" 'erase(TOP2)"+
" 'erase(TOP3)"+
" 'ADER2=2"+
" 'GO");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("addmod&IN1=temp7          &IN2=temp14          &OUT=temp15
@TOLERNCE=0.001");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("extra &IN=temp15 &OUT=temp1_15 @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'IF(ADER1==absent())"+
" '  ADER1=0"+
" 'END"+
" 'IF(ADER2==absent())"+
" '  ADER2=0"+
" 'END"+
" 'ADER=ADER1+ADER2"+
" 'erase(ADER1)"+
" 'erase(ADER2)"+
" 'GO");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("delete &IN=mod1 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp1 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp2 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp3 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp4 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp5 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp6 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp7 @CONFIRM=0");

```

```

oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp8 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp9 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp10 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp11 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp12 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp13 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp14 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp15 @CONFIRM=0");

ProgressBar1.value += delta;

oDmApp.ParseCommand("selexy&IN=temp1_15 &PERIM="+PTX5.value+" &OUT=temp1_16
*X=XC *Y=YC @OUTSIDE=0 @PRINT=0");

oDmApp.ParseCommand("extra&IN=temp1_16&OUT="+PTX9.value+"@APPROX=0@PRINT=0"+
"TON=XINC*YINC*ZINC*DENSITY"+
"GO");

oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp1_15 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp1_16 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("mgsort&IN="+PTX9.value+"&OUT=temp17*KEY1=ADER@ORDER=1"
);

oDmApp.ParseCommand("accmlt&IN=temp17 &OUT=temp18 *KEY1=ADER @ALLRECS=0
@UNSORTED=0");

oDmApp.ParseCommand("selcop&IN=temp18&OUT=temp19*F1=ADER*F2=TON@KEEPALL=0")
;

//oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp16 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp17 @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp18 @CONFIRM=0");

ProgressBar1.value += delta;

varoDmFile = new ActiveXObject("DmFile.DmTableADO");

oDmFile.Open(oDmApp.ActiveProject.Folder +"\\temp19.dm",true);

oDmFile.MoveFirst();

var RNP = oDmFile.GetColumn(2);

oDmFile.MoveNext();

var PNR = oDmFile.GetColumn(2);

```

```

oDmFile.MoveNext();

var RP = oDmFile.GetColumn(2);

oDmFile.Close();

var IAtemp = 100*RP/(RNP + RP);

var ICtemp = 100*RP/(PNR + RP);

var EFtemp = (IAtemp + ICtemp)/2;

var IA = Math.round(IAtemp*10)/10;

var IC = Math.round(ICtemp*10)/10;

var EF = Math.round(EFtemp*10)/10;

RNP = Math.round(RNP);

PNR = Math.round(PNR);

RP = Math.round(RP);

oDmApp.ParseCommand("delete &IN=temp19 @CONFIRM=0");

ProgressBar1.value += delta;

alert("Processo concluído.\n\nModelo de entrada: "+PTX10.value+"\nTopografia inicial:
"+PTX1.value+"\nTopografia realizada: "+PTX3.value+"\nTopografia planejada: "+PTX13.value+"\n\n1 - RNP:
"+RNP+"\n2 - PNR: "+PNR+"\n3 - RP: "+RP+"\n\nÍndice de Aderência = " + IA + "%\n\nÍndice de
Cumprimento = " + IC + "%\n\nÍndice de Efetividade = " + EF + "%");
}

catch(e) {

    alert("Failed\nReason: " + e.description);

}

}

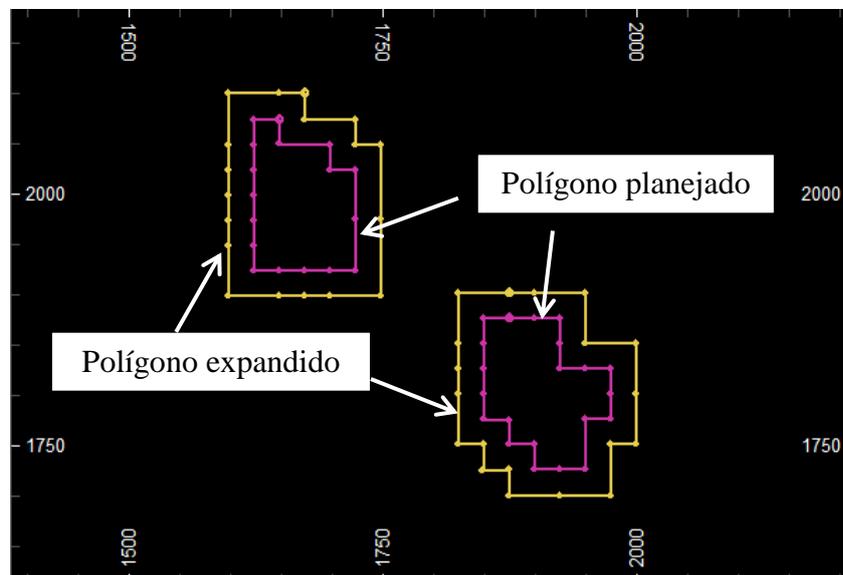
```

Anexo B

Esse anexo contém a descrição detalhada das etapas da rotina realizada no *software* Studio 3 para avaliação das poligonais de planejamento apresentada no Capítulo 4.

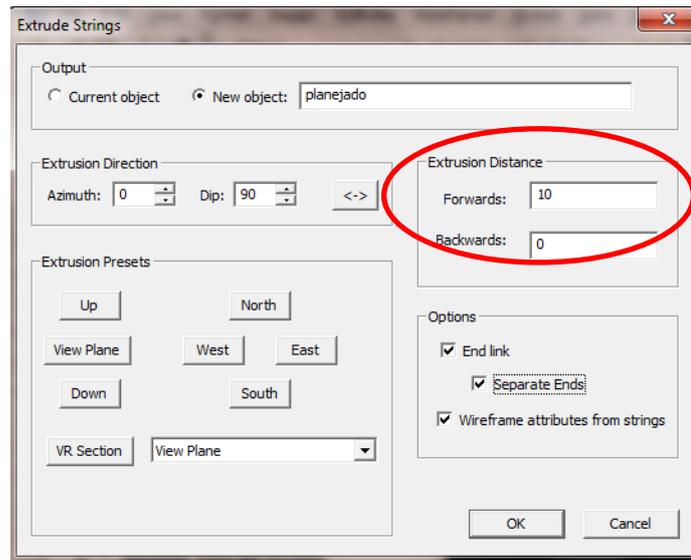
1. A primeira etapa é a seleção das poligonais referentes aos locais planejados.
2. Expandir as poligonais em 25 metros, com o objetivo de identificar os blocos adjacentes aos blocos planejados que se encontram no limite da lavra.

Figura B.1- Polígonos planejados e expandidos.



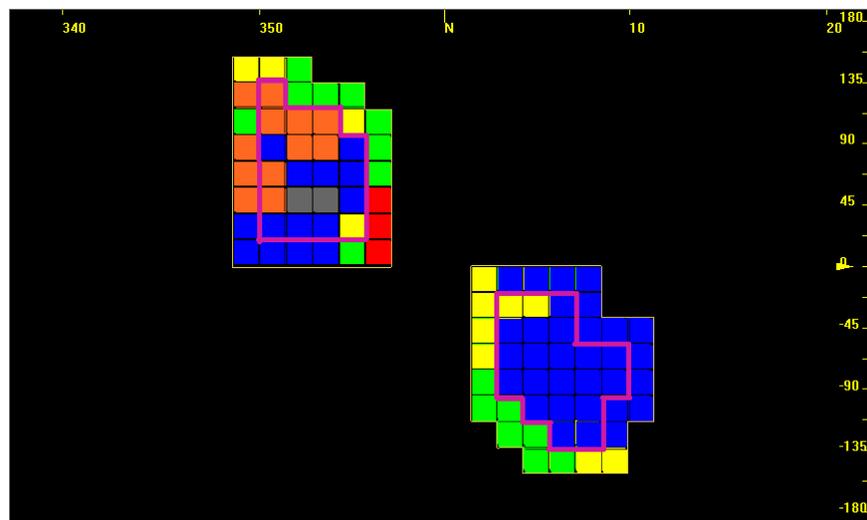
3. Transformar as poligonais em sólidos com altura de 10 metros, correspondente à altura de bancada utilizada na operação. Esta transformação é feita através do comando “*Extrude strings*”, e é realizada para as *strings* originais e para as *strings* expandidas.

Figura B.2 - Janela para extrusão das *strings*.



4. De posse dos sólidos, é feita a seleção dos blocos inseridos nos mesmos, através do comando “*Seltri*”, processo que seleciona blocos localizados dentro de determinada superfície. Este processo resulta em um modelo de blocos com os mesmos campos presentes no modelo de bloco original.

Figura B.3 - Modelo de blocos selecionado dentro dos polígonos.



5. Exportar os dois modelos de blocos criados para o Excel, para realizar as análises necessárias.