



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ
DEPARTAMENTO DE MINAS CONSTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA DILUIÇÃO NA ECONOMICIDADE DE UM
REALCE DE UMA MINA DE OURO**

FLÁVIO LOYOLA TAVARES

MICHEL MELO OLIVEIRA

ARAXÁ
2016

Exemplo

Tavares, Flávio Loyola.

S---

Avaliação do impacto da diluição na economicidade de um realce/
Flávio Loyola Tavares - 2016.

37 f.: il.

Michel Melo Oliveira Material Didático (Graduação em Engenharia
de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,
Engenharia de Minas, 2016.

1. Lavra Subterrânea. 2. Diluição 3. Engenharia de Minas. I.
Oliveira, Michel Melo. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais, Engenharia de Minas. III. Graduação.

CDD-----

FLÁVIO LOYOLA TAVARES

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA DILUIÇÃO NA ECONOMICIDADE DE UM
REALCE DE UMA MINA DE OURO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Educação tecnológica de Minas Gerais, Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. MSc. Michel Melo Oliveira – CEFET/ARAXÁ
Presidente da Banca Examinadora - Orientador

Prof. Dr. Felipe de Moraes Russo – CEFET/ARAXÁ

Prof. MSc. Felipe Valença de Oliveira – CEFET/ARAXÁ

Aos meus pais João e Greucy
E aos meus irmãos Igor e Fhárley.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado força e saúde para que chegasse até aqui.

Em seguida agradeço aos principais responsáveis por essa conquista, minha família. A minha mãe, aquela que tenho como maior exemplo de luta e força de vontade.

Meu pai, aquele que considero meu melhor amigo. Obrigado por sempre ter ficado ao meu lado, me acalmando e aconselhando. Eu realmente não chegaria até aqui sem seus conselhos, sempre levarei você como maior exemplo de humildade e amor ao próximo

Agradeço aos meus irmãos, Fhárley e Igor, por sempre ter me incentivado e encorajado.

Aos amigos, que estiveram do meu lado durante essa caminhada, nos bons e maus momentos. Fiz de vocês minha família nesse trajeto pela busca desse objetivo.

À empresa.

O meu agradecimento à AngloGold Ashanti, por ter fornecido o banco de dados utilizado para a realização desse trabalho de conclusão de curso.

Finalmente ao meu orientador Professor Mestre Michel Melo Oliveira, que foi peça fundamental para execução desse presente trabalho.

Muito obrigado a todos...

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível. (Charles Chaplin)

RESUMO

A diluição é um dos principais problemas enfrentados por um empreendimento mineiro e um dos mais complexos. A diluição é definida como, a relação entre a quantidade de estéril pela quantidade de minério explorados. A diluição pode ocorrer de forma planejada, quando o estéril ou minério abaixo do teor de corte se encontra dentro dos limites do realce planejado, ou de forma não planejada que é definida como a exploração de material pobre que não se encontra dentro dos limites do realce planejado. Para esse estudo foi utilizado o banco de dados da mina Cuiabá, administrada pela AngloGold Ashanti em Sabará-MG. O Banco de dados analisado continha o levantamento topográfico de 24 realces realizados, feito via sistema de monitoramento de cavidades (SMC), e o desenho de 24 realces planejados. Utilizando o software Micromine, foram calculados os volumes e massas dos realces planejados, realces realizados e da diluição. Os resultados foram tabelados e posteriormente feitos os cálculos da diluição presente em cada avanço, bem como uma análise de perda econômica, perante 6 cenários distintos de teores. O realce que apresentou a menor diluição foi realces 17, apresentando diluição de 5.68%, conseqüentemente foi aquele que apresentou o melhor design de realce realizado. Por outro lado, o realce 5 foi o que apresentou a pior porcentagem de diluição, o equivalente a 210. 20%. Com relação à perda econômica, o realce 24 foi o que apresentou as maiores, isso devido à grande diferença entre a quantidade de minério que foi planejado de ser explorado e aquele que foi efetivamente lavrado

Palavras-chave: Diluição, minério, estéril, software.

ABSTRACT

Dilution is one of the main problems faced by a mining enterprise and one of the most complex. Dilution is defined as the ratio between the quantity of waste by the amount of ore mining. The dilution can occur in a planned way, when the waste or ore below the cut-off grade is within the stopes limits planned, or in an unplanned way that is defined as the mining of poor material that is not within the stopes limits planned. For this study was used the Cuiabá's mine database, managed by AngloGold Ashanti in Sabará-MG. The database analyzed contained the survey of 24 stopes made, made via cavities monitoring system (CMS), and the design of 24 planned stopes. Using Micromine software, volumes and masses of planned stopes were calculated, stopes made and dilution. The results were tabulated and then made the present dilution calculations for each advance, as well as an analysis of economic loss, before 6 different grades scenarios. The stope that had the lowest dilution was the 17 stope, with dilution of 5.68%, Therefore the one that presented the best stope design performed. On the other hand, the stope 5 was the one that presented the worst percentage of dilution, equivalent to 210. 20%. Concerning to economic loss, the stope 24 was the one that had the highest, that due to the large difference between the amount of ore that was planned to be mining and the one that was actually exploited.

Keywords: Dilution, ore, waste, software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1- Ilustração representativa da diluição planejada e não planejada.....	5
Figura 3.2- Detalhe de medição do Sistema de Monitoramento de Cavidades.....	8
Figura 3.3- Representação da geometria dos furos do método Perfuração Radial...	10
Figura 3.4- Perfuração de Furos Longos.....	11
Figura 3.5- Representação da geometria de furos do método <i>Vertical Crater Retreat (VCR) Method</i>	11
Figura 4.1- Utilização da função <i>export</i> para conversão do formato de arquivo no <i>Datamine</i>	14
Figura 4.2- Seleção da categoria CAD para converter à DXF.....	14
Figura 4.3- Vista superior de um realce realizado.	15
Figura 4.4- Importação do realce planejado.	16
Figura 4.5- Realce 1 planejado.	16
Figura 4.6- Realce 1 realizado.	17
Figura 4.7- Representação do realce planejado e do realce realizado simultaneamente.	17
Figura 4.8- Definição dos limites <i>East</i> e <i>North</i> do modelo de blocos.	18
Figura 4.9- Janela de definição de parâmetros para criação do modelo de blocos...	18
Figura 4.10- Janela de criação de modelo de blocos.	19
Figura 4.11- Representação da seleção do ícone Block Model.	19
Figura 4.12- Janela para importação do modelo de blocos.....	20
Figura 4.13- Modelo de Blocos do realce realizado.	20
Figura 4.14- Ferramenta <i>Assign</i> para a geração do modelo de blocos da diluição não-planejada.....	21
Figura 4.15- Representação da janela que contem a função <i>Modify</i>	21
Figura 4.16- Criação da coluna que contem o que extrapola e o que está fora da <i>wireframe</i>	22
Figura 4.17- Tabela de atribuição de valores.	22
Figura 4.18- Seleção do tipo de filtro.....	23
Figura 4.19- Lançamento de atributos.....	23
Figura 4.20- Seleção da opção Block Model Report.	24
Figura 4.21- Função <i>Create a Block Model Report</i> , usado para obter o volume da diluição.	25
Figura 4.22- Representação da janela com a função <i>View</i>	25

Figura 4.23- Tabela de volume e massa da diluição não planejada, realce 1.....	26
Figura 4.24- Processo para calculo de volume do realce planejado 1.	26
Figura 4.25- Resultados obtidos para o calculo do realce planejado 1.	26
Figura 5.1- Modelo de blocos da diluição	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Cenários de teores utilizados.	28
Tabela 4.1- Volume dos realces.....	29
Tabela 4.2- Análises de massas	30
Tabela 4.3- Massa de estéril e minério	32
Tabela 4.4- Diluições não planejadas dos realces (cenário 1).	33
Tabela 4.5- Diluição do Teor (cenário 1).	34
Tabela 4.6- Massas de ouro contidas nos realces planejados e realces realizados (cenário 1).	35
Tabela 4.7- Massa de ouro aproveitada (cenário 1).....	36
Tabela 4.8- Perda econômica (cenário 1).	37
Tabela 4.9- Média de perdas econômicas para diferentes cenários.	38

ABREVIATURAS E SIGLAS

SMC- Sistema de monitoramento de cavidade;

CPU-*Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento);

DXF- *Drawing Exchange Format*;

DM- *Date memory*;

VCR- Vertical Crater Retreat;

CAD- *Computer Aided Design* (Desenho assistido por computador).

SÍMBOLOS

%- Porcentagem;
°- Grau;
m³- Metro cúbico;
g- Grama
t- Tonelada;
R\$- Real (moeda);

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação	1
1.2	Justificativa	1
1.3	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo geral.....	2
1.2.2	Objetivo específico	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Definições de Diluição.....	3
2.2	Tipos de diluição	5
2.2.1	Diluição planejada	5
2.2.2	Diluição não planejada	5
2.3	Cálculo de diluição	5
2.4	Métodos de quantificação de Overbreak.....	7
2.4.1	Quantificação via mapeamento topográfico.....	7
2.4.2	Quantificação via escâner a laser ou “Sistema de Monitoramento de Cavidades” (SMC).....	7
2.5	O impacto da diluição para um empreendimento mineiro	8
2.6	O método Sublevel Stopping.....	9
3.	METODOLOGIA.....	13
3.1	Conversão de formato dos arquivos.....	13
3.2	Geração dos Realces.....	15
3.3	Criação do modelo de Blocos.....	17
3.4	Calculo dos volumes e massas dos realces e da diluição.....	20
3.5	Cálculo da diluição	27
3.6	Avaliação do impacto da diluição da economicidade dos realces	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	Análise de volumes e massas do realce planejado e do realce realizado.....	29
4.2	Quantificação da diluição no realce.....	31
4.3	Impacto econômico da diluição	35
5.	CONCLUSÃO	39
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A diluição é a quantidade de estéril, ou o minério com teor abaixo do teor de corte, que é lavrada com o minério. Villaescusa (1998) define como o material de baixo teor, que entra em uma corrente de minério, reduzindo o seu valor. Já Oliveira (2012) define que a diluição é uma medida da perda de qualidade, teor principalmente, da rocha explotada no realce.

A diluição pode ocorrer de forma planejada ou operacional. A segunda está associada ao estéril desmontado, que é transportado com o minério, e que não se localizava internamente ao limite do realce originalmente planejado.

A maneira mais usada de quantificar a diluição é a que utiliza o levantamento topográfico dos realces como princípio e posteriormente os compara com as dimensões dos realces projetados. O equipamento de levantamento topográfico mais utilizado no Brasil para análise dos realces é o sistema de monitoramento de cavidades (SMC).

1.2 Justificativa

O aumento da quantidade de estéril junto ao minério provoca impactos diretos na mineração, principalmente no que se diz respeito ao fluxo de caixa. Pois a diluição implica no aumento do volume e da massa rocha carregada, transportada e incluída em todas as etapas de beneficiamento.

Esse trabalho de conclusão de curso trata dessa questão e apresenta, utilizando softwares, o cálculo das diluições de realces de uma mina de ouro. As wireframes dos realces planejados e realizados foram fornecidos pela empresa. Os resultados obtidos mostrarão como a diluição impactará na economicidade.

1.3 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Determinar com o auxílio do *software* MICROMINE o volume e a massa dos realces realizados, o volume e a massa do estéril que é adicionado ao processo e calcular de diferentes formas a diluição dos 24 realces.

1.2.2 Objetivo específico

Apresentar o impacto da diluição para o fluxo de caixa da empresa e apresentar a perda econômica da empresa causada por desmontes mal executados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definições de Diluição

Dentre os diversos problemas enfrentados pela mineração, a diluição pode ser considerada um dos mais antigos e uma das variáveis operacionais mais problemáticas para a lavra (Crawford 2004).

Segundo Pakalnis (1986) a diluição é usada como um parâmetro quantitativo que habilita o operador de mina a avaliar a qualidade do seu realce.

Conceitua-se, minério como um mineral ou um aglomerado de minerais que sua exploração é economicamente viável e estéril a massa sem valor econômico que engloba a jazida junto com o mineral. Sendo assim, a diluição pode ser definida como o aumento da tonelagem de minério, enquanto seu teor diminui.

Ebrahimi (2013) define diluição como a relação entre a tonelagem de estéril lavrado e enviado para a usina e a tonelagem total de minério mais estéril combinado que são processados.

Para Clark (1998) a diluição e a recuperação são medidas da qualidade dos designs das aberturas de realce. Sendo que um bom projeto é aquele que maximiza a recuperação e minimiza a diluição, tendo em mente que as duas medidas são independentes.

Scoble e Moss (1994) dizem que as principais medidas de qualidade de um realce são recuperação e diluição. A recuperação refere-se à eficácia da lavra, medida pela proporção do corpo de minério conhecido que foi efetivamente escavado. Diluição diz respeito à eficiência de mineração, medida pela proporção de resíduos introduzidos como parte do processo de mineração. As duas medidas são interdependentes: por exemplo, um objetivo de recuperação particular só pode ser atingido à custa de certo grau de diluição.

Quais quer que sejam as definições de diluição, ambas dizem respeito a quantidade de estéril ou minério abaixo do teor de corte que é explotado e

posteriormente passa por todas as etapas seguintes, assim, ocasionando maiores custos de processo.

2.2 Tipos de diluição

Indubitável que certo percentual de diluição seja muitas vezes algo esperado, sendo esse fator já considerado durante a elaboração do projeto. Embora em outros momentos a mesma apareça de maneira inesperada, sendo causada por diversos tipos de erros de execução. Sendo assim, a diluição pode ser subdividida em diluição planejada e diluição não planejada.

2.2.1 Diluição planejada

Diluição planejada é o material que não é minério (abaixo do teor de corte) que se encontra dentro dos limites do realce planejado (Clark 1998).

Por definição realce é definido como uma escavação subterrânea resultante da extração mineral, o termo é aplicado apenas para a extração de minério, não incluindo os minérios retirados de poços e túneis auxiliares.

As fontes de diluição planejada podem estar associadas com as limitações do método de lavra utilizado, quando minerado irregularmente, ou quando o depósito possui pequena espessura. Nesses casos que a geometria do corpo de minério não apresenta condições de exploração favoráveis, é adotado uma diluição planejada já levando em consideração o estéril esperado.

2.2.2 Diluição não planejada

Segundo Clark (1998), diluição não planejada ou diluição operacional diz respeito ao estéril ou minério abaixo do teor de corte que não se localiza internamente aos limites planejados para o realce, como pode ser visualizado na Figura 2.1.

A diluição operacional, também chamada de *overbreak*, tem origens nas instabilidades das superfícies do realce, descontinuidades induzidas pelo desmonte e características intrínsecas ao maciço rochoso (Oliveira 2012).

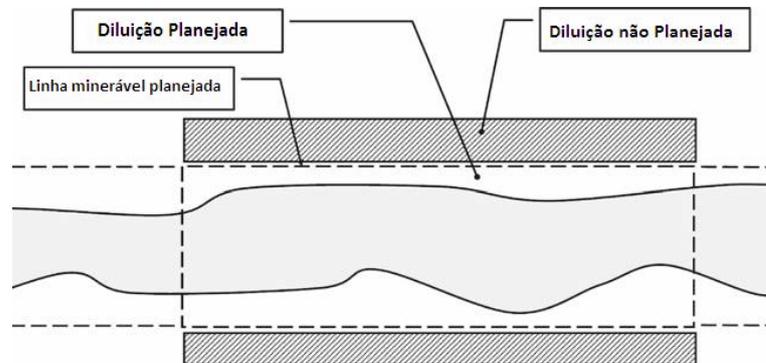


Figura 2.1- Ilustração representativa da diluição planejada e não planejada (Adaptada de Hanning & Mitri 2008).

2.3 Cálculo de diluição

Existem vários métodos para o cálculo de diluição, sendo assim deve-se tomar cuidado ao comparar os resultados de dois métodos diferentes. Oliveira (2012) mostra algumas das equações usadas para o cálculo:

$$Diluição = \frac{\text{Estéril minerado em Toneladas}}{\text{Minério minerado em Toneladas}}$$

Equação 2.1: Diluição em relação ao minério.

$$Diluição = \frac{\text{Estéril minerado em Toneladas}}{\text{Minério minerado em Toneladas} + \text{Estéril minerado em Toneladas}}$$

Equação 2.2: Diluição em relação a massa total.

$$Diluição = \frac{\text{Teor in - situ do minério dos furos de sonda}}{(\text{Teor de amostras retiradas dos pontos de carregamento})}$$

Equação 2.3: Diluição em relação ao teor do material carregado.

$$Diluição = \frac{\text{Teor in – situ estimado da reserva}}{\text{Teor de amostra da saída da moagem com a mesma massa}}$$

Equação 2.4: Diluição em relação ao teor do produto da moagem.

$$Diluição = \frac{\text{Massa Carregada} - \text{Massa Desmontada}}{\text{Massa Desmontada}}$$

Equação 2.5: Diluição em relação ao desmonte

$$Diluição = \frac{\text{Soma da metragem da footwall e hangwall em relação ao corpo de minério}}{\text{Largura do corpo de minério}}$$

Equação 2.6: Diluição em relação à geometria do corpo de minério

$$Diluição = \text{Diferença entre o enchimento real necessitado ao daquele planejado}$$

Equação 2.7: Diluição relacionada ao enchimento.

$$Diluição = \text{Diluição observada em campo}$$

Equação 2.8: Diluição observada.

Scoble & Moss (1994) propõem que as maneiras de cálculo de diluição mais utilizadas no Canadá são as equações 2.1 e 2.2, sendo a equação 2.1 utilizada como a medida padrão de diluição. Geralmente diluição é calculada em porcentagem e seus calculos são baseados em toneladas.

No caso de mineração em depósitos que possua veios estreitos de minério, Stewart (2005) recomenda a utilização da equação da equação 2.2.

O nível de aceitabilidade de diluição em um realce é totalmente dependente do teor presente. Para Pakalnis (1986), 7% de todas as aberturas de realce apresentam diluição de mais de 20%. Ele ainda apresenta que as diluições com menos de 5% são aceitáveis e consideradas baixas.

2.4 Métodos de quantificação de Overbreak

Stewart (2005) apresenta que, inicialmente, a quantificação da diluição não planejada era feita através da relação toneladas planejadas de um realce por toneladas reais, ou em alguns casos a relação teor planejado por teor real. Uma das principais limitações desse método é que ele não considera a perda de minério.

John & Mitri (2008) relatam que ao avaliar a diluição de um realce é necessário saber como ele é operado. Tradicionalmente não era fácil fazer a medição do perfil da abertura do realce, mas nos últimos anos o levantamento preciso, das superfícies dos realces escavados, tem sido possível.

2.4.1 Quantificação via mapeamento topográfico

Um dos métodos de quantificação é feito com o uso de mapeamento topográfico, onde são feitos levantamentos topográficos após cada avanço. Como o levantamento topográfico é feito logo após os desmontes, este método não apresenta com exatidão a superfície final do realce. Oliveira (2012) diz que a metodologia de mapeamento topográfico subestima a distribuição de tensões, pois as tensões tendem a ser mais críticas após a escavação final do realce. .

2.4.2 Quantificação via escâner a laser ou “Sistema de Monitoramento de Cavidades” (SMC)

Por ser o método que apresenta resultados mais precisos, escâner a laser ou “Sistema de Monitoramento de Cavidades” (SMC), atualmente, é o método de quantificação mais utilizado por grandes companhias mineradoras, como a AngloGold Ashanti. Clark (1992) diz que o equipamento é composto por três partes principais: o sistema de escaneamento, o controle portátil e o suporte para o equipamento.

Clark (1992) relata que o SMC utiliza uma tecnologia de reflexão de laser e são capazes de medir distâncias de até 100m. O equipamento ainda é capaz de

girar 360° em torno do seu próprio eixo de base e girar 135° perpendicularmente em relação à haste de base.

O equipamento gerará uma esfera de 270°, o que geralmente é adequado para dimensionar um realce. A Figura 2.2 esquematiza a varredura gerada pelo escâner a laser.

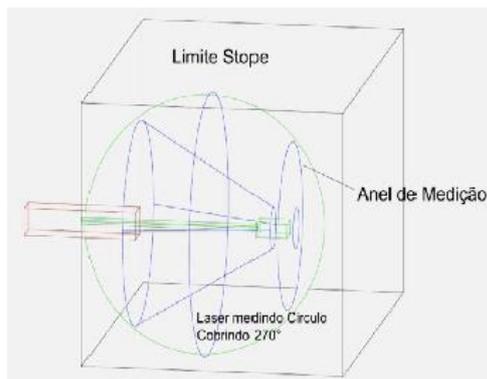


Figura 2.2- Detalhe de medição do Sistema de Monitoramento de Cavidades, Oliveira 2012.

O controle remoto permite que o operador programe o levantamento e ative remotamente o escâner. O equipamento ainda possui uma caixa de controle que abriga o registrador de dados, CPU e bateria. O equipamento tem capacidade de armazenar 2 Megabytes de informação, que equivale a quatro levantamentos.

Os dados gerados pelo SMC podem ser transferidos para um programa de projetos como o AutoCad para a definição da topografia final do realce, Oliveira (2012).

2.5 O impacto da diluição para um empreendimento mineiro

Para Scoble & Moss (1994) a diluição é um dos motivos mais comuns para a falência de uma mineradora. Com um mercado global competitivo, existe a pressão sobre as companhias mineradoras para maximizar a produção e conseqüentemente aumentar sua receita.

A diluição não planejada influencia diretamente o custo de abertura de um determinado realce e conseqüentemente a viabilidade da operação mineral. Segundo Henning & Mitri (2008), o impacto econômico da diluição está ligado principalmente a custos adicionais com carregamento, transporte, moagem e tratamento dos resíduos.

Como os moinhos são projetados para operar com um determinado teor de alimentação, o decréscimo desse teor pode desequilibrar o sistema, ocasionando assim uma menor recuperação.

Segundo Clark (1992), o custo mais sério gerado pela diluição está associado a quantidade de minério abaixo do teor de corte ou estéril que entra no circuito de processamento mineral. Em outras palavras esse custo está associado em colocar dentro do circuito de processo, um material que não traz renda a empresa.

O tempo adicional necessário para escavação e aterro dos maiores realces gerados pelo *overbreak* também podem levar a um atraso não programado da operação.

Outro custo causado pela diluição não planejada está ligado à sobre-quebra gerada pelo desmonte. Além do desmonte de material sem valor, o *overbreak* muitas vezes pode provocar a instabilidade do maciço rochoso, devido à reorientação do campo de tensões, sendo necessários gastos para reparo daquele maciço.

Neste método de lavra subterrânea o minério é retirado pelo realce, à medida que são feitos os desmontes, deixando assim o realce aberto. Posteriormente, após retirada do minério é feito o preenchimento deste realce, na maioria das vezes com estéril, com o objetivo principal de redistribuir as tensões para que o avanço continue sendo feito no corpo de minério.

A escolha do método de lavra que deve ser utilizado em um empreendimento mineiro varia de acordo com as características e condições a que o projeto é submetido. Características como, geometria do corpo de minério, resistência

mecânica do minério e das encaixantes e legislação são fatores que influenciam diretamente na escolha do método. Para Oliveira (2012), a escolha do método de lavra traz impactos diretos com relação à recuperação e conseqüentemente ao fluxo de caixa do empreendimento.

O método de lavra subterrânea *sublevel stoping*, o qual é o método utilizado pela empresa que cedeu os dados para execução desse trabalho, apresenta as seguintes restrições:

- Resistência do minério: Moderada a alta;
- Resistência da encaixante: Moderada a alta;
- Corpo de minério: Tabular ou lenticular;
- Mergulho: Maior que 45°;
- Profundidade moderada.

O método *SubLevel Stopping*, ainda pode ser dividido em três classes distintas, que apresentam como contraste à forma de perfuração e desmonte para abertura do realce, como apresenta Oliveira(2012). Que são:

- Perfuração Radial (Figura 2.3);
- Perfuração de Furos Longos (Figura 2.4);
- *Vertical Crater Retreat (VCR) Method*(Figura 2.5).

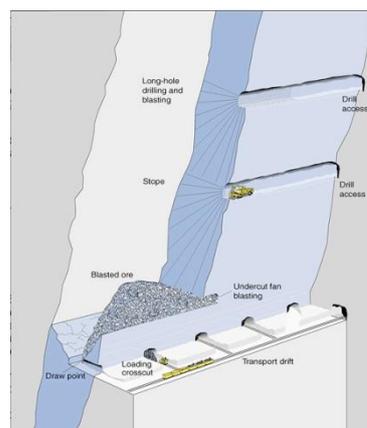


Figura 2.3- Representação da geometria dos furos do método Perfuração Radial.
(Fonte: minewiki.engineering.queensu.ca)

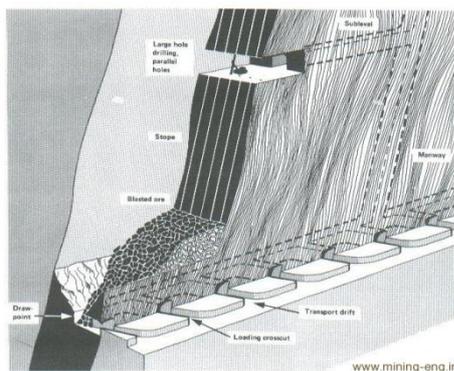


Figura 2.4- Perfuração de Furos Longos. (Fonte: mining-eng.ir)

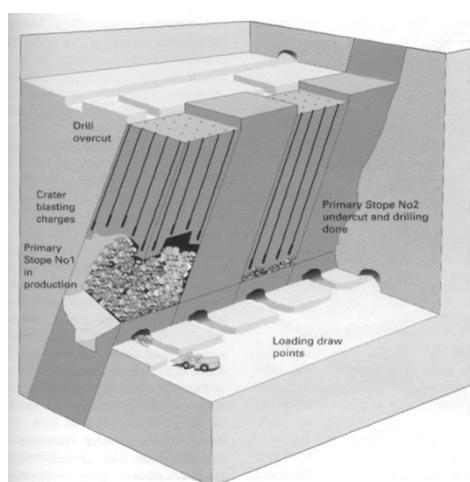


Figura 2.5- Representação da geometria de furos do método *Vertical Crater Retreat (VCR) Method*. (Fonte: studfiles.ru).

Oliveira (2012) distingue estas classes de *sublevel stoping* da seguinte forma: Na Perfuração radial, a perfuração é feita em forma de leque e o minério é desmontado em fatias verticais; Na perfuração de furos longos, a perfuração é realizada verticalmente e também apresenta o desmonte feito em fatias verticais; O VCR apresenta perfuração vertical, mas desmonta o material em fatias.

Hartman & Mutmanský (2002) apresentam diversas vantagens e desvantagens deste método.

Como vantagens citam:

- Produtividade de moderada a alta;

- Custo de lavra moderado;
- Baixo custo de desmonte, e custo de movimentação desse material relativamente baixo;
- Pequena exposição a condições de perigo e fácil ventilação;
- Boa recuperação (cerca de 75%);
- Diluição moderada.

E como desvantagens:

- Desenvolvimento complicado e com custos elevados;
- Planejamento de lavra inflexível;
- Requer perfuração precisa;
- Grandes desmontes podem causar vibrações significantes e dano estrutural.

3. METODOLOGIA

Para o cálculo da diluição operacional as equipes de planejamento precisam levantar as dimensões e locação espacial dos realces planejados e realizados. Foram analisados o levantamento topográfico de 24 realces, executados na Mina Cuiabá, administrada pela Anglo Gold Ashanti, localizada em Sabará-MG, onde utilizam o Sistema de Monitoramento de Cavidade para obter tais dados.

3.1 Conversão de formato dos arquivos

Foi utilizado o *Software* de planejamento de lavra MICROMINE, da empresa MICROMINE, para o cálculo da diluição operacional. Porém, antes foi necessário fazer a conversão do formato dos arquivos para o formato DXF, pois os mesmos se encontravam no formato DM, formato este que não é aceito pelo MICROMINE. O procedimento de conversão foi feito da seguinte forma:

1. É aberto no *Datamine* o arquivo que contém o levantamento topográfico feito pelo SMC. Como os realces foram discretizados (triangularizados), apenas as *wireframes* “*triangles*”;
2. Para a conversão de formato é necessário utilizar a função *export*, e posteriormente selecionar a categoria CAD, como mostrado nas Figuras 3.1 e 3.2;

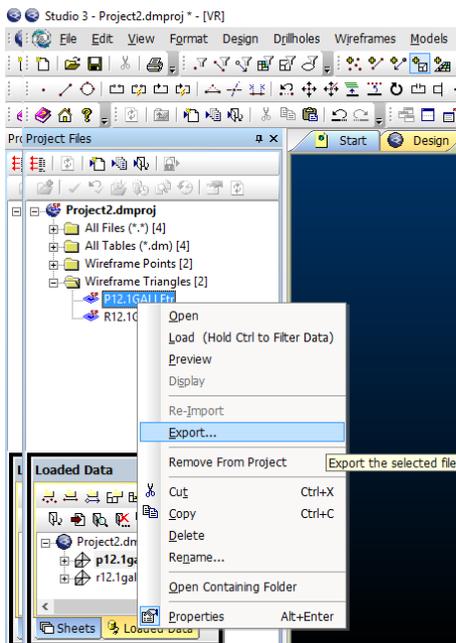


Figura 3.1- Utilização da função *export* para conversão do formato de arquivo no *Datamine*.

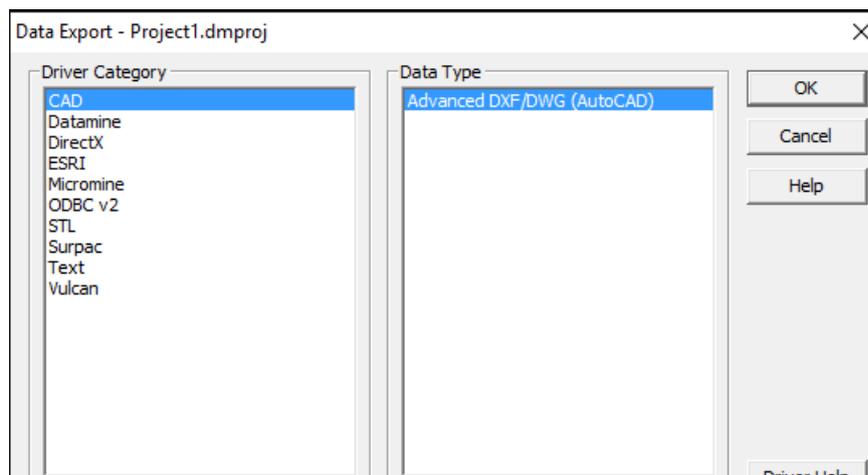


Figura 3.2- Seleção da categoria CAD para converter à DXF.

3. Por fim os arquivos foram salvos em uma pasta, diferente da de origem.

Para confirmar a conversão dos dados para o formato DXF foi utilizado *software* AutoCad, pois este possibilita a visualização do realce, como apresentado na figura 3.3.

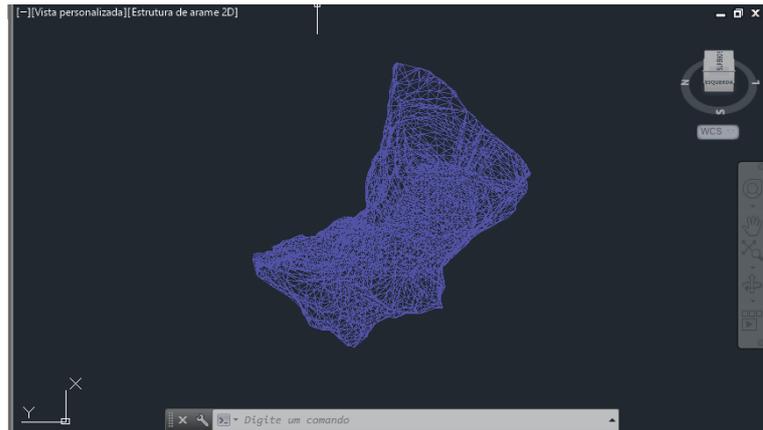


Figura 3.3- Vista superior de um realce realizado.

3.2 Geração dos Realces

Com o objetivo de criar a representação gráfica e posteriormente gerar o modelo de blocos do realce planejado e do realce realizado, é feita a importação das *wireframes*, estas que representam o levantamento topográfico do realce. Para iniciar esta etapa do trabalho foi necessário a criação de um novo projeto e, em seguida, é feita a importação das *wireframes* dos realces.

Posteriormente, as *wireframes* dos realces importados são selecionadas para serem utilizadas. É selecionado o tipo DTM (*Digital Terrain Model*) e depois as *wireframes* que representam os realces em estudo (Figura 3.4).

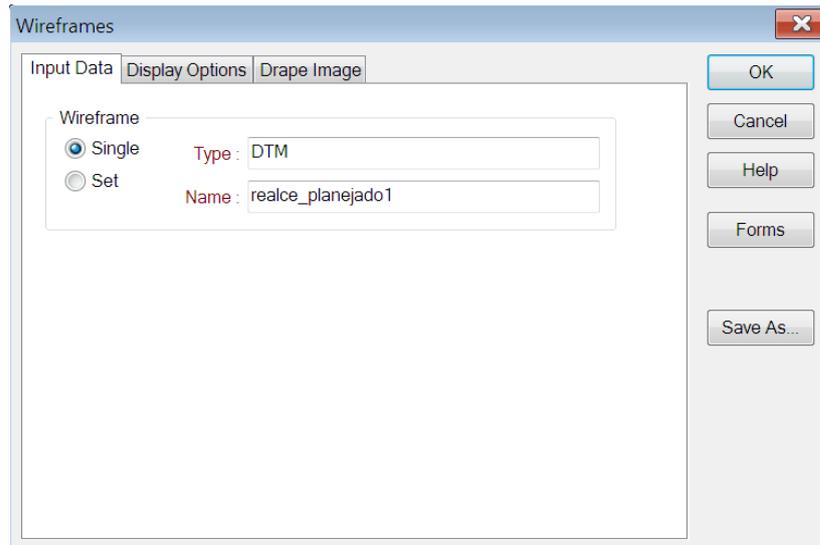


Figura 3.4- Importação do realce planejado.

Para o estudo dos realces foram escolhidas as cores azul e vermelha, representando respectivamente o realce planejado e o realce realizado. É feita a importação das *wireframes*, então é possível a visualização das estruturas do realce planejado, do realce realizado e a visão simultânea dos dois, o que dá noção da diluição operacional do realce realizado. As figuras 3.5, 3.6 e 3.7 representam respectivamente o realce planejado, o realizado e os dois ao mesmo tempo.

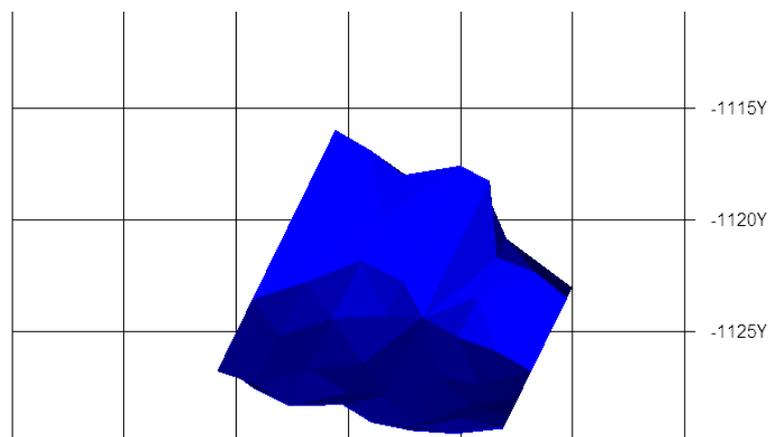


Figura 3.5- Realce 1 planejado.

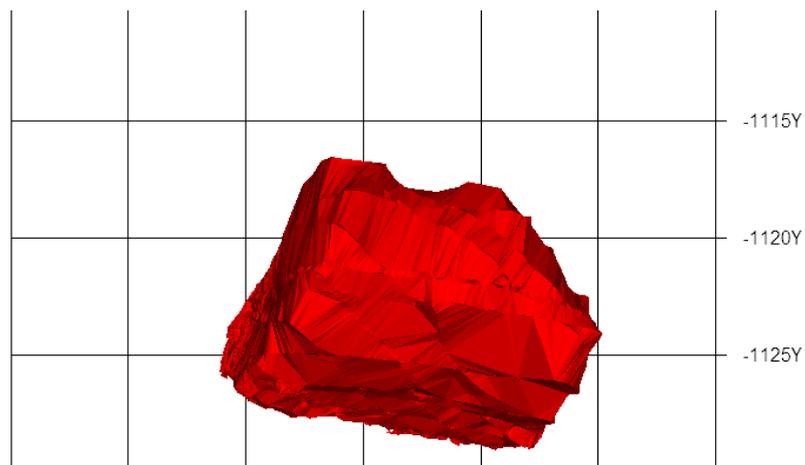


Figura 3.6- Realce 1 realizado.

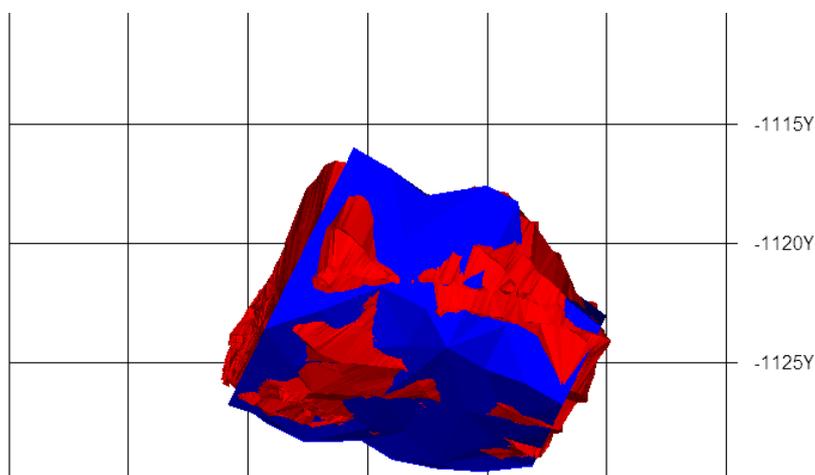


Figura 3.7- Representação do realce planejado (azul) e do realce realizado simultaneamente (vermelho).

É observável, utilizando a Figura 3.7, que o realce executado na prática extrapola em determinadas regiões e em outras apresenta dimensão menor do que havia sido projetado para o avanço. Sabendo disso, torna-se importante o conhecimento do impacto desse acréscimo ou falta de material.

3.3 Criação do modelo de Blocos

O modelo de blocos foi criado para auxiliar no cálculo de volume da diferença de volume entre o realce planejado e realce executado. Para isso, primeiramente é criado um arquivo de saída para o realce planejado e outro para o realce realizado.

Para definir os limites do modelo de blocos foi utilizada a ferramenta *Display Limits*, como mostrado na Figura 3.8.

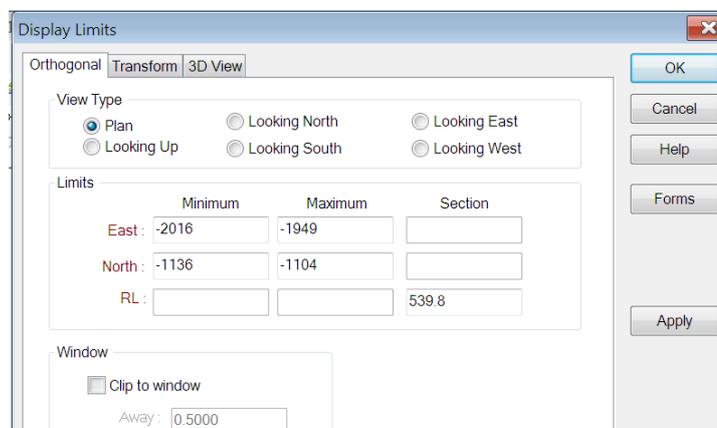


Figura 3.8- Definição dos limites *East* e *North* do modelo de blocos.

Assim que determinados os limites, espaçamento e quantidade de blocos, é aberto a ferramenta *Create Blank Block Model* (Figura 3.9), com o objetivo de gerar o modelo de blocos. Posteriormente são lançadas as definições do modelo no ícone *Block Definitions* (Figura 3.9).

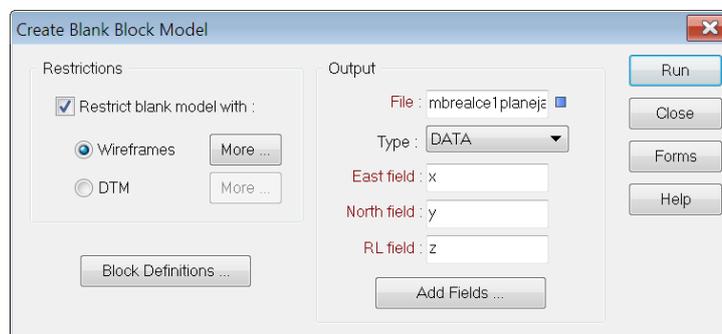


Figura 3.9- Janela de definição de parâmetros para criação do modelo de blocos.

Como pode ser observado na Figura 3.10, foi utilizado o tamanho de 0.3 metros, isso com o objetivo de se obter um modelo de blocos que defina de forma mais precisa a geometria dos realces. Além disso, foram lançados os valores dos limites dos realces, obtidos no passo anterior.

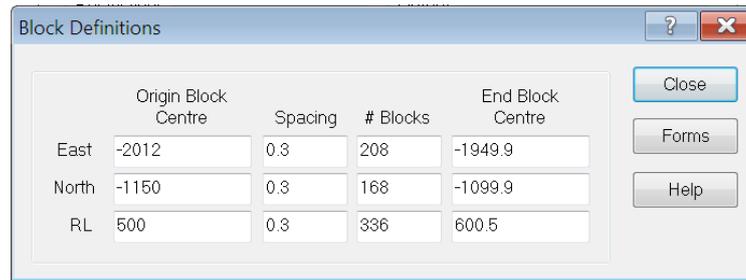


Figura 3.10- Janela de criação de modelo de blocos.

Após a criação do modelo de blocos é feita a importação dos mesmos para o projeto. Na janela *Form Sets* (Figura 3.11) é selecionado o ícone *Block Model*.

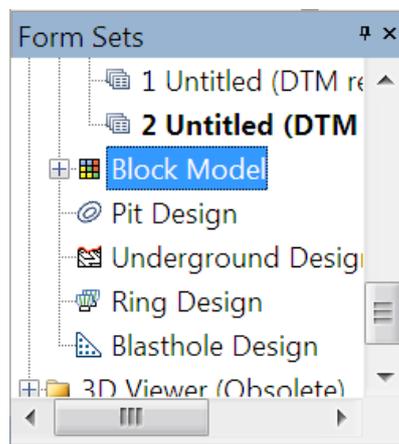


Figura 3.11- Representação da seleção do ícone Block Model.

Com isso, será aberta a janela *Block Model* (Figura 3.12), com o auxílio desta é possível fazer a importação do modelo de blocos criado anteriormente. Além disso, é possível alterar a aparência gráfica do modelo de bloco, mudar o estilo de representação (3D ou 2D), alterar cor, textura etc.

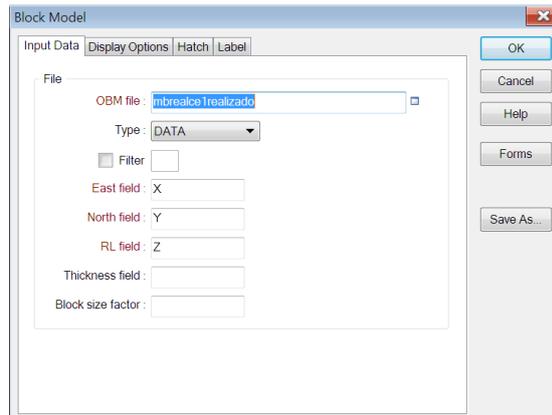
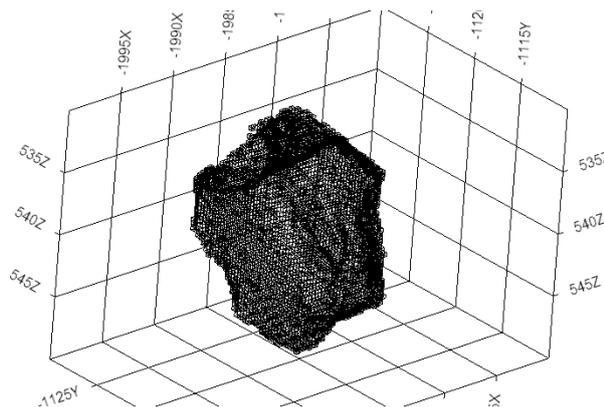


Figura 3.12- Janela para importação do modelo de blocos.

Como o trabalho tem como objetivo a quantificação da diluição e apresentar seus impactos, foi gerado o modelo de blocos do realce realizado. A Figura 3.13 apresenta o modelo de blocos gerado para o realce 1 realizado.



3.13- Modelo de Blocos do realce realizado

3.4 Cálculo dos volumes e massas dos realces e da diluição

Com o objetivo de obter o volume e posteriormente a massa da diluição, foi necessário isolar o modelo de blocos da parte do realce realizado que extrapola o realce planejado. Para isso foram seguidas as seguintes etapas:

Primeiramente é aberta a ferramenta *Assign Wireframes* (Figura 3.14). Esta ferramenta tem como princípio atribuir valores aos blocos que não intercedem a interseção do realce planejado e para os blocos que extrapolam essa interseção. Na

região *Input* é selecionado o tipo *Block Model*, posteriormente abre-se o modelo de blocos do realce realizado.

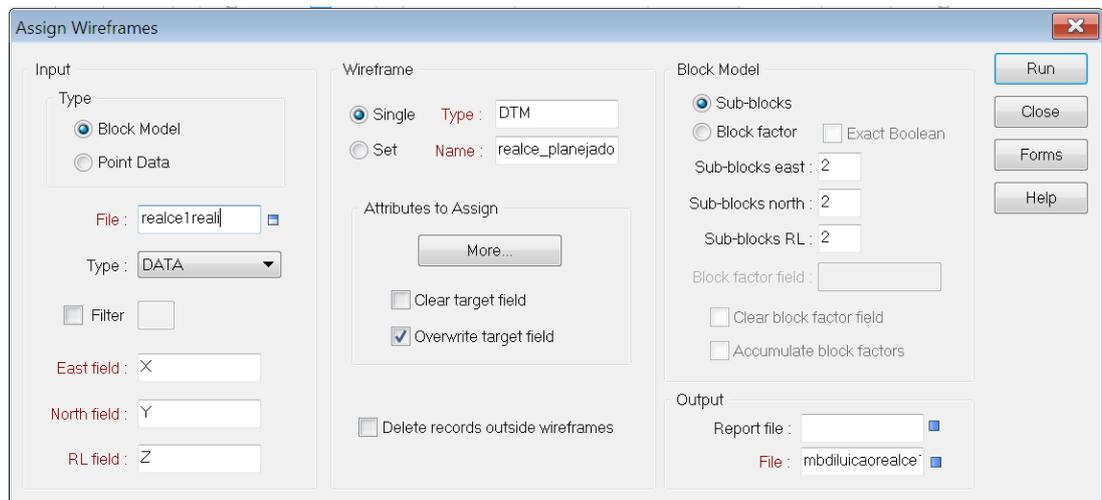


Figura 3.14- Ferramenta *Assign* para a geração do modelo de blocos da diluição não-planejada.

Em *File* utilizando o botão direito do mouse seleciona a opção *Modify* (Figura 3.15), com o objetivo de gerar uma nova coluna que represente o que está fora e o que está dentro da *wireframe* (Figura 3.16).

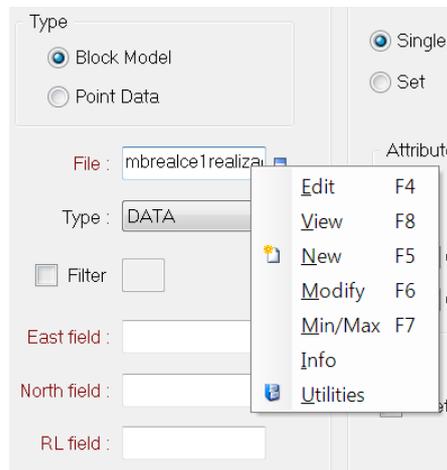


Figura 3.15- Representação da janela que contém a função *Modify*.

	FIELD NAME	TYPE (C/N)	WIDTH<256	DECIMALS	START	INCREMENT	OLD NAME	T W D
1	x	N	11	3			x	N 11 3
2	x	N	11	3			x	N 11 3
3	y	N	11	3			y	N 11 3
4	y	N	11	3			y	N 11 3
5	z	N	11	3			z	N 11 3
6	z	N	11	3			z	N 11 3
7	in_out	N	3	0			in_out	N 3 0

Figura 3.16- Criação da coluna que contém o que extrapola e o que está fora da *wireframe*.

Depois de feita a etapa anterior, utiliza-se a função *Edit*, possível de ser visualizada na Figura 3.15. Após isso, é necessário preencher a coluna *in out* com o número 0, isso com o objetivo de atribuir esse valor para o que extrapola e 1 para o que não ultrapassa a interseção dos reais planejado e não planejado, como apresenta a Figura 3.17.

	x	x	y	y	z	z	in out
005	-1977.000	1.000	-1122.000	1.000	545.000	1.000	0
006	-1977.000	1.000	-1122.000	1.000	546.000	1.000	0
007	-1977.000	1.000	-1121.000	1.000	544.000	1.000	0
008	-1977.000	1.000	-1121.000	1.000	545.000	1.000	0
009	-1976.000	1.000	-1126.000	1.000	544.000	1.000	0
010	-1976.000	1.000	-1126.000	1.000	545.000	1.000	0
011	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	538.000	1.000	0
012	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	539.000	1.000	0
013	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	540.000	1.000	0
014	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	541.000	1.000	0
015	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	542.000	1.000	0
016	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	543.000	1.000	0
017	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	544.000	1.000	0
018	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	545.000	1.000	0
019	-1976.000	1.000	-1125.000	1.000	546.000	1.000	0
020	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	539.000	1.000	0
021	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	540.000	1.000	0
022	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	541.000	1.000	0
023	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	542.000	1.000	0
024	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	543.000	1.000	0
025	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	544.000	1.000	0
026	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	545.000	1.000	0
027	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	546.000	1.000	0
028	-1976.000	1.000	-1124.000	1.000	547.000	1.000	0

Figura 3.17- Tabela de atribuição de valores.

Como próxima etapa é selecionado a opção *Filter*, essa ferramenta é usada com o intuito determinar os blocos que extrapolam a interseção dos reais.

Posteriormente é selecionado o *IN OUT* no campo *Field Name* com valor igual 0 (Figura 3.18).

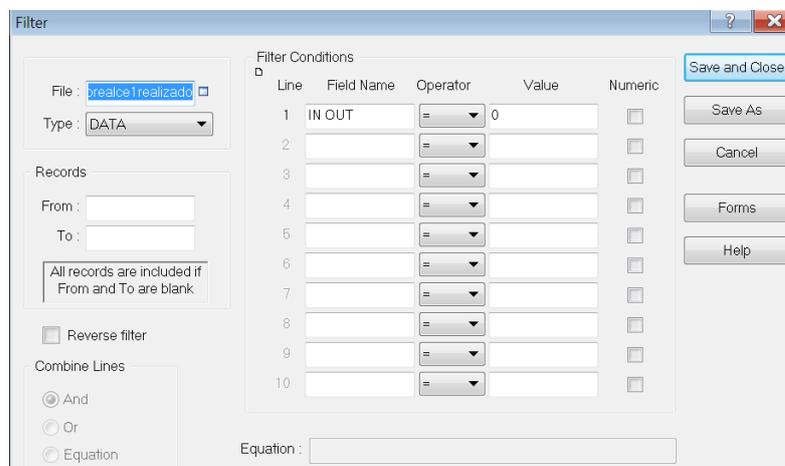


Figura 3.18- Seleção do tipo de filtro.

Para o *Wireframe* é selecionado a opção *Single*, tipo DTM e o realce planejado. No campo *Attributes to Assign* é selecionado a opção *Overwrite target Field*. No ícone *more* é selecionado como atributo *USER VALUE*, valor igual a 1 e *Assign To* como *IN OUT*, isso com o objetivo de atribuir esse valor para os blocos contidos internamente a interseção dos realces. (Figura 3.19)

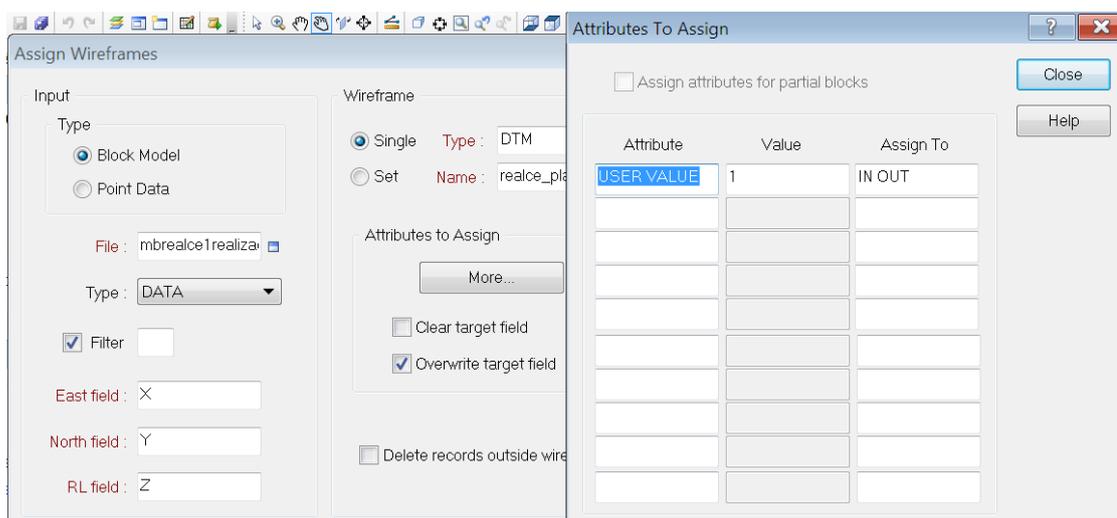


Figura 3.19- Lançamento de atributos.

Para o campo *Block Model* (Figura 3.14), seleciona-se o campo *Sub-blocks*, atribuindo valor igual a 2 para *Sub-blocks east*, *Sub-blocks North* e para *RL*. Essa etapa foi feita com objetivo de criar um melhor contorno do modelo de blocos.

Como próximo passo digita-se em *File* o nome para o arquivo de saída, nesse caso “mbdiluaorealce1”, e clique em “*Run*”. Com isso, é gerado o modelo de blocos para o *overbreak*.

Por fim, com o objetivo de obter os volumes, seleciona-se *Block Model Report* como mostrado na Figura 3.20.

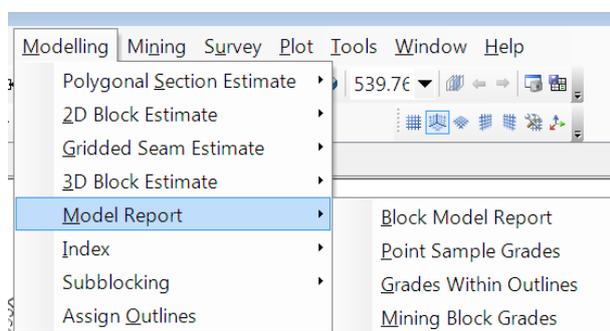


Figura 3.20- Seleção da opção Block Model Report.

Com a execução do passo anterior é aberto a janela *Create a Block Model Report* (Figura 3.21). Seleciona-se a estrutura que se deseja calcular o volume, nesse caso foi selecionado a diluição do realce 1, sendo assim, é necessário adicionar o filtro já estabelecido no processo apresentado. Também são adicionados como *Fields* o X, Y e Z.

Além disso, é acrescida a densidade da rocha encaixante, 2.85 g/cm^3 (dado fornecido pela empresa), dado de extrema importância para obtenção da massa do material que será acrescentado ao processo.

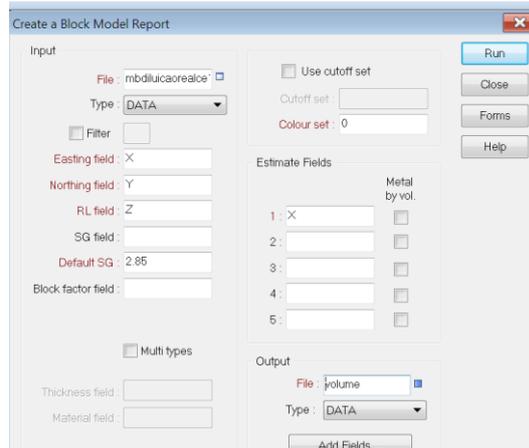


Figura 3.21- Função Create a Block Model Report, usado para obter o volume da diluição.

No campo *Output* é criado um arquivo de saída com o nome volume, e posteriormente roda-se o mesmo. Assim que carregado, clica-se com o botão direito do *mouse* sobre o arquivo volume e em seguida em *View* (Figura 3.22).

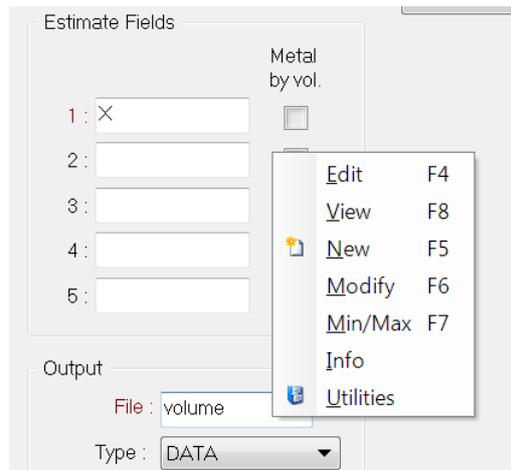


Figura 3.22- Representação da janela com a função View.

Com isso é aberto uma tabela (figura 3.23) contendo o volume em m³, a massa em toneladas e a densidade do material em análise.

	FROM	TO	VOLUME	TONNES	SG	x	CUM VOL	CUM TONNES	x	MATERIAL
1	-1000000000.00000	6.00000	136.41	409.22	3.00000	-1983.697	136.41	409.22	-1983.697	TOTAL
2	6.00000	1000000000.00000	0.00	0.00	0.00000	0.000	136.41	409.22	-1983.697	TOTAL

Figura 3.23- Tabela de volume e massa da diluição não planejada, realce 1.

O processo é repetido para o cálculo do volume do realce planejado, mudando apenas a densidade do material, sendo usada a densidade de 3,0 g/cm³(densidade do minério), dado fornecido pela empresa. Neste caso não é necessário o uso de filtro, pois deseja-se calcular o volume de todo realce, como apresentado na Figura 3.24.

Figura 3.24- Processo para cálculo de volume do realce planejado 1.

A figura 3.25 apresenta os resultados de volume e massa do realce planejado.

	FROM	TO	VOLUME	TONNES	SG	x	CUM VOL	CUM TONNES	x	MATERIAL
1	-1000000000.00000	6.00000	1043.28	2973.35	2.85000	-1982.858	1043.28	2973.35	-1982.858	TOTAL
2	6.00000	1000000000.00000	0.00	0.00	0.00000	0.000	1043.28	2973.35	-1982.858	TOTAL

Figura 3.25- Resultados obtidos para o cálculo do realce realizado 1.

3.5 Cálculo da diluição

Os resultados obtidos são transferidos para uma planilha no *software* Excel. Onde são preenchidos campos de: número do realce analisado, volume do realce planejado (m³), massa do realce planejado (t), volume do realce realizado (m³), massa do realce realizado (t), volume de minério explotado (t), massa de minério explotado (t), teor médio de Au contido no realce (g/t), massa de Au contida no realce planejado (g), volume de estéril adicionado (m³), massa de estéril adicionado e a diluição (%).

O cálculo da diluição foi executado no próprio Excel, utilizando a equação 2.1, que é a mais usada pela maioria das companhias. Essa que relaciona o Estéril lavrado com o minério que foi lavrado no realce.

Para o cálculo da diluição do teor, foram utilizados teores in-situ de forma aleatória, porém dentro da faixa de teores encontrados na mina Cuiabá. Foi usada uma faixa de teores de 4g/t até 20g/t e posteriormente, gerados seis cenários diferentes, um onde os 24 realces apresentavam teores baixos, um com altos teores e quatro com teores aleatórios (Tabela 3.1).

Tabela 3.1- Cenários de teores utilizados.

REALCE	Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário 3 (R\$)	Cenário 4 (R\$)	Cenário 5 (R\$)	Cenário 6 (R\$)
1	4,1	6	15,01	6,5	10,3	4,1
2	4	5	16,02	5,73	8,6	4,5
3	5,3	4,4	17,02	4,55	16,7	5,2
4	11,3	12,3	11,3	12,45	8,7	4,56
5	15	8	15	18,98	19,97	7,2
6	7,9	6,78	18,98	13,45	6,58	4,01
7	4,9	4,4	19,01	18,98	5,3	7,34
8	9,85	9,74	15,78	15,34	12,76	5,8
9	7,5	6	17,5	18,87	6,67	4,43
10	5,9	12,43	16,87	8,77	8,97	5,34
11	14,9	9,76	17,98	14,9	5,3	8,43
12	16,6	12,54	16,6	16,6	13,65	3,34
13	9,8	11,65	13,9	9,8	19,8	3,06
14	16,6	19,75	16,9	16,6	17,01	4,87
15	15	11,34	18,94	7,65	14	6,76
16	4	17,54	16,66	4,65	8,9	5,73
17	6,1	9,5	19,01	8,45	9,84	3,65
18	6,2	5	18,95	4,5	9,3	4,5
19	8,89	3	14,76	5,7	3,96	5,7
20	8,45	6,6	17,7	12,3	7,89	5,43
21	6,6	7,65	15,33	6,6	4,65	4,44
22	5,42	5,55	12,03	8,6	14,9	5,55
23	6,63	8,54	18,08	8,6	16,65	3,99
24	16,3	8,48	19,02	6,5	19,6	6,5

3.6 Avaliação do impacto da diluição da economicidade dos realces

Com o intuito de fazer a análise econômica dos realces, foram feitas comparações da quantidade de ouro esperada de ser encontrada no realce e a quantidade que realmente apresenta.

Para obter a massa aproveitada de ouro foi utilizada a recuperação de flotação de 97% e recuperação metalúrgica de 93%. Esses valores são aplicados sobre a massa de ouro contida nos realces.

Foi utilizada a cotação do ouro (Au) do dia 05/07/2016 às 11:16 am, que equivalia a R\$ 140,00 /g esse valor foi aplicado a diferença entre a massa de ouro esperado e a massa de ouro retirada do realce realizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de volumes e massas do realce planejado e do realce realizado

Como dito anteriormente, foram feitas 24 análises de aberturas de realces e comparadas com os realces planejados pela equipe de planejamento da AngloGold Ashanti. Os volumes encontrados para os realces analisados são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Volume dos realces

REALCE	VOLUME DO REALCE PLANEJADO (m ³)	VOLUME REALCE REALIZADO (m ³)	DIFERENÇA DE VOLUME (m ³)
1	1060,36	1035	25,36
2	3145,99	2878,23	267,76
3	1115,83	1139,16	-23,33
4	308,58	194,99	113,59
5	1320,56	3870,32	-2549,76
6	1396,31	691,82	704,49
7	7449,83	6919,37	530,46
8	756,81	824,23	-67,42
9	335,26	433,2	-97,94
10	2554,86	2802,2	-247,34
11	848,48	840,9	7,58
12	416,31	360,99	55,32
13	553,82	508,7	45,12
14	901,5	776,8	124,7
15	919,54	1459,13	-539,59
16	2535,89	1983,59	552,3
17	6300,29	1032,29	5268
18	2786,35	2609,3	177,05
19	2613,84	1998,84	615
20	3175,25	3120,5	54,75
21	2873,29	2694,03	179,26
22	1798,15	1443,5	354,65
23	672,84	711,99	-39,15
24	4933,9	3027,08	1906,82

Com auxílio do *software* MICROMINE também foi possível fazer o cálculo das massas dos realces, aplicando-se a densidade de 3,0 g/cm³ e 2,85 g/cm³ para o minério e para a encaixante, respectivamente. A Tabela 4.2 apresenta os valores das massas encontradas.

O realce 5 é o que apresenta maior diferença entre volumes planejados e realizados, apresentando uma diferença de 2549,76 m³. Isto implica em maiores gastos, devido à necessidade de carregar e transportar uma quantidade maior de material, em determinados casos a necessidade de fazer reparos do realce para promover melhoria da estabilidade dos mesmos, processamento de uma maior quantidade de material, a necessidade de maiores áreas para armazenar o rejeito gerado pelo processamento do mesmo etc.

Tabela 4.2- Análises de massas

REALCE	MASSA DO REALCE PLANEJADO (t)	MASSA DO REALCE REALIZADO (t)
1	3181,08	3084,53
2	9437,97	8549,12
3	3347,49	3381,86
4	925,74	582,18
5	3961,68	11211,1
6	4188,93	2068,80
7	22349,49	20550,08
8	2270,43	2412,37
9	1005,78	1267,53
10	7664,58	8288,30
11	2545,44	2477,73
12	1248,93	1072,51
13	1661,46	1514,33
14	2704,5	2312,04
15	2758,62	4286,51
16	7607,67	5913,42
17	18900,87	3088,13
18	8359,05	7801,50
19	7841,52	5935,68
20	9525,75	9215,07
21	8619,87	7926,98
22	5394,45	4231,96
23	2018,52	2096,82
24	14801,7	8926,90

Com a tabela 4.1 e 4.2 notamos que os realce 5 e 17 apresentaram os valores extremos da análise.

No caso do realce 17 tem-se um volume de material explotado inferior àquela que foi projetada. Este realce foi projetado para serem explotados 18900,87 m³ de minério, mas foram lavrados apenas 3088,13 m³, o que representa uma diferença de 1906,82 m³. Essa diferença é comumente provocada pelo mal dimensionamento do desmonte, ou até mesmo por características intrínsecas do maciço rochoso. Como o desmonte não foi efetivo a ponto de explotar o material requerido, torna-se necessário fazer mais desmontes, o que implica em maiores custos se comparado ao plano inicial de avanço.

4.2 Quantificação da diluição no realce

Foram encontradas com o auxílio do software MICROMINE a representação do modelo de blocos da diluição (Figura 4.1), o que proporcionava uma análise visual da mesma.

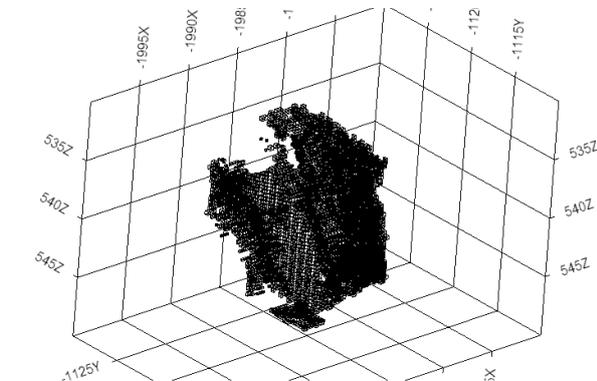


Figura 4.1- Modelo de blocos da diluição

Com o lançamento da densidade do minério e da densidade rocha encaixante, fornecidas pela empresa, foi possível calcular suas respectivas massas para cada abertura dos realces (Tabela 4.3).

Como pode ser observado na Tabela 4.3, o realce 5 foi o que apresentou maior quantidade de estéril acrescido no processo, ou seja, foi aquele que apresentou a maior sobre-quebra durante a abertura do realce. O realce 7 é o que

apresenta o maior avanço, conseqüentemente é aquele que apresenta as maiores massas de minério explotadas, 16597,62 t, mas também é aquele que retira a maior quantidade de estéril, 3952,46 t.

Tabela 4.3- Massa de estéril e minério

REALCE	ESTÉRIL ADICIONADO (T)	MASSA DE MINÉRIO EXPLOTADO (T)
1	388,77	2695,77
2	1625,78	6923,34
3	676,68	2705,19
4	52,92	529,26
5	7596,96	3614,16
6	126,37	1942,44
7	3952,47	16597,62
8	1146,07	1266,30
9	609,24	658,29
10	2247,57	6040,74
11	854,43	1623,30
12	198,56	873,96
13	223,55	1290,78
14	348,81	1963,23
15	1726,64	2559,87
16	709,62	5203,80
17	165,98	2922,15
18	501,51	7299,99
19	1155,93	4779,75
20	2782,17	6432,90
21	2946,99	4980,00
22	1872,22	2359,74
23	743,79	1353,03
24	2932,37	5994,54

Já com os valores de massa de estéril e minério é possível fazer a quantificação da diluição presente em cada realce. Os cálculos de diluição foram feitos de 3 maneiras, utilizando as Equações 2.1, 2.2 e 2.3, por serem estas as mais usuais. Os resultados obtidos foram tabelados, como segue na tabela 4.4.

Os realces 6, 17 e 18 foram os que apresentaram menor diluição se comparados com outros analisados, apresentando respectivamente diluições de 6,51%, 5,68% e 6,87% (Valores para Eq. 2.1). Conseqüentemente esses realces são os que apresentam melhor recuperação de minério e melhor geometria de realce.

Já por outro lado os realces que apresentaram as maiores diluições foram os realces 5, 8 e 9, apresentando respectivamente 210,20%, 90,51% e 92,55% (Valores para Eq. 2.1). Sendo assim, são os realces que apresentam as piores geometrias de realce realizado e também os que apresentam maior quantidade de estéril.

As diluições dos realces serão as mesmas para todos os cenários, quando utilizadas as equações 2.1 e 2.2. Apenas serão diferentes a cada cenário quando usarmos a equação 2.3, está que é relacionado com o teor médio presente em cada cenário utilizado.

Tabela 4.4- Diluições não planejadas dos realces (cenário 1).

REALCE	DILUIÇÃO Eq. 1.1 (%)	DILUIÇÃO Eq. 2.2 (%)	DILUIÇÃO Eq. 2.3
1	14,42	12,60	1,14
2	23,48	19,02	1,23
3	25,01	20,01	1,25
4	10,00	9,09	1,10
5	210,20	67,76	3,10
6	6,51	6,11	1,07
7	23,81	19,23	1,24
8	90,51	47,51	1,91
9	92,55	48,07	1,93
10	37,21	27,12	1,37
11	52,64	34,48	1,53
12	22,72	18,51	1,23
13	17,32	14,76	1,17
14	17,77	15,09	1,18
15	67,45	40,28	1,67
16	13,64	12,00	1,14
17	5,68	5,37	1,06
18	6,87	6,43	1,07
19	24,18	19,47	1,24
20	43,25	30,19	1,43
21	59,18	37,18	1,59
22	79,34	44,24	1,79
23	54,97	35,47	1,55
24	48,92	32,85	1,49

Como pode ser observado, as equações apresentam resultados discrepantes. Isso porque a primeira equação faz uma análise linear diluição nos realces, a segunda faz uma análise exponencial e a última apresenta a interferência da diluição no decréscimo do teor.

Como a diluição pode ser definida, de forma mais geral, como a adição de material de baixo valor agregado ao minério, é de se esperar que quanto maior a diluição maior será a redução do teor de minério. Sendo assim, foram calculados os valores dos teores após a diluição e os mesmos foram tabelados (Tabela 4.5).

Tabela 4.5- Diluição do Teor (cenário 1).

REALCE	Teor médio de Au planejado (g/t)	Teor médio de Au diluído (g/t)
1	4,1	3,58
2	4	3,24
3	5,3	4,24
4	11,3	10,27
5	15	4,84
6	7,9	7,42
7	4,9	3,96
8	9,85	5,17
9	7,5	3,90
10	5,9	4,30
11	14,9	9,76
12	16,6	13,53
13	9,8	8,35
14	16,6	14,10
15	15	8,96
16	4	3,52
17	6,1	5,77
18	6,2	5,80
19	8,89	7,16
20	8,45	5,90
21	6,6	4,15
22	5,42	3,02
23	6,63	4,28
24	16,3	10,95

O realce 5, aquele que apresentou a maior diluição, foi o que teve o maior decréscimo de teor, indo de 15 g/t para 4,84 g/t. Assim como o realce 17, aquele apresentou menor diluição, é o que apresenta menor decréscimo, de 6,1g/t para 5,77 g/t. Para fazer os cálculos da diluição, usando a equação 2.3, foram utilizados os valor dos teores presentes em cada cenário da Tabela 3.1.

4.3 Impacto econômico da diluição

Tendo os valores dos teores esperados e os teores diluídos é possível fazer uma análise da perda de econômica causada pela diluição. Para isso multiplicam-se os teores, planejados e diluídos, nas respectivas massas de minérios. Com isso encontram-se as massas de ouro esperadas e as massas de ouro presentes nos realces realizados, Tabela 4.6.

Tabela 4.6- Massas de ouro contidas nos realces planejados e realces realizados (cenário 1).

REALCE	MASSA DE Au CONTIDA NO REALCE PLANEJADO (g)	MASSA DE Au CONTIDA NO REALCE REALIZADO (g)
1	13042.43	11052.66
2	37751.88	27693.36
3	17741.70	14337.51
4	10460.86	5980.64
5	59425.20	54212.40
6	33092.55	15345.28
7	109512.50	81328.34
8	22363.74	12473.06
9	7543.35	4937.18
10	45221.02	35640.37
11	37927.06	24187.17
12	20732.24	14507.74
13	16282.31	12649.64
14	44894.70	32589.62
15	41379.30	38398.05
16	30430.68	20815.20
17	115295.31	17825.12
18	51826.11	45259.94
19	69711.11	42491.98
20	80492.59	54358.01
21	56891.14	32868.00

22	29237.92	12789.79
23	13382.79	8970.59
24	241267.71	97711.00

Como 100% do ouro (Au) explotado não é recuperado pela concentração, é necessário fazer os descontos da recuperação na flotação e da recuperação metalúrgica, sendo essas de 97% e 93% respectivamente. Sendo assim se obtém os valores da tabela 4.7:

Aplicando o valor da cotação do ouro à diferença de massa aproveitável de ouro, tem-se o valor que a empresa deixou de gerar devido a execução não efetiva de um realce projeto. A cotação empregada foi de R\$140,00 /g, acessada às 11:16 am do dia 05/07/2016 (fonte: BM & Bovespa a nova bolsa);

Tabela 4.7- Massa de ouro aproveitada (cenário 1).

REALCE	MASSA DE AU APROVEITADA NO REALCE PLANEJADO (g)	MASSA DE AU APROVEITADA NO REALCE REALIZADO (g)
1	11765,57	9970,60
2	34055,97	24982,18
3	16004,78	12933,87
4	9436,74	5395,13
5	53607,47	48905,01
6	29852,79	13842,97
7	98791,23	73366,29
8	20174,33	11251,94
9	6804,86	4453,83
10	40793,88	32151,17
11	34214,00	21819,25
12	18702,55	13087,43
13	14688,27	11411,24
14	40499,51	29399,09
15	37328,27	34638,88
16	27451,52	18777,39
17	104007,90	16080,04
18	46752,33	40828,99
19	62886,39	38332,01
20	72612,36	49036,36
21	51321,50	29650,22
22	26375,53	11537,67
23	12072,61	8092,37
24	217647,60	88145,09

A Tabela 4.7 apresenta as perdas econômicas por realce que a empresa teve por não ter explorado de forma efetiva o minério. O principal problema aqui é a que a empresa faz um projeto já esperando um determinado retorno, mas como o processo de lavar o minério não é feito de forma adequada, ocorre a redução desse. No caso do cenário 1, houve uma média de R\$ 4.925.300,03 a menos em circulação no caixa da empresa, isso na maioria das vezes devido a um desmonte menor do que havia sido planejado. A Tabela 4.8 apresenta a perda econômica por realce do cenário 1.

Tabela 4.8- Perda econômica (cenário 1).

REALCE	Perda Econômica (R\$)
1	251.296,14
2	1.270.330,72
3	429.928,77
4	565.825,41
5	658.345,36
6	2.241.373,84
7	3.559.490,68
8	1.249.133,60
9	329.144,27
10	1.209.979,37
11	1.735.265,16
12	786.117,26
13	458.783,67
14	1.554.058,03
15	376.513,99
16	1.214.377,43
17	12.309.900,43
18	829.268,13
19	3.437.613,47
20	3.300.640,96
21	3.033.978,70
22	2.077.299,90
23	557.234,22
24	18.130.350,88

Foram feitos os cálculos de perda econômica para seis cenários, sendo um apresentando teores altos, um baixo teor, e outros quatro com teores bem distribuídos, como mostrado na Tabela 3.1.

O cenário 3 é o que apresenta os maiores teores médios nos realces, sendo assim, é o que apresentou a maior média de perda econômica em relação aos demais. Já o cenário 6, o que foi o que apresentou menor média de perda econômica (Tabela 4.9).

Tabela 4.9- Média de perdas econômicas para diferentes cenários.

Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário 3 (R\$)	Cenário 4 (R\$)	Cenário 5 (R\$)	Cenário 6 (R\$)
4.925.300,03	3.472.829,18	7.499.197,44	4.288.657,82	4.585.013,11	3.105.269,91

5. CONCLUSÃO

A partir das análises feitas em cada realce foi possível comprovar o quanto importante é considerar a variável diluição em um projeto mineiro, pois esta implica acréscimos de gastos e pode inviabilizar o avanço de lavra.

Os realces analisados que apresentaram a menor diluição foram os realces 6, 17 e 18, apresentando diluição de respectivamente 6,51%, 5,68% e 6,87. Estes foram os realces que proporcionaram um material com menor quantidade de estéril na sua composição e que chegaram mais próximos da geometria planejada. Por outro lado, os realces 5, 8 e 9 apresentaram as piores porcentagens de diluição, respectivamente 210,20%, 90,51% e 92,55%.

Do ponto de vista econômico, o realce 17 foi que apresentou a maior perda, pois era esperado uma retirada de minério muito além daquela que foi efetivamente feita no realce realizado. Esse fato implicou na menor produção de ouro e conseqüentemente impactou diretamente o fluxo de caixa da empresa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Clark L.M. 1998. *Mining dilution in open stop mining with a focus on stoped design and narrow vein long hole blasting*. Master Thesis, Mining and Mineral Process Engineering, University British Columbia, Vancouver, 357p.
- Crawford P.E. 2004. Dilution and Ore Recovery. *Pincock Perspectives*, **60**:2-6.
- Ebrahimi A. 2013. The importance of dilution factor for open pit mining projects. *World Mining Congress*, Vancouver 2013.
- Hartman H.L. & Mutmansky J.M. 2002. *Introductory mining engineering*. New Jersey: Willey, p.344-350.
- Henning J.G. & Mitri, H.S. 2007. Assessment and Control of Ore Dilution in Long Hole Mining: Case Studies. *Geotechnical and Geological Engineering. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. **44**:692-703.
- Oliveira M.M. 2012. *Dimensionamento empírico de realce em subnível stoping*. Dissertação, Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 162p.
- Pakalnis R. T. 1986. *Empirical stoped design at the Rutan Mine, Sherritt Gordon Mines LTD*. Doctor thesis- Mining And Mineral Process Engineering, Mining And Mineral Process Engineering, University British Columbia, Vancouver, 290p.
- Scoble M.J. & Moss A. 1994. Dilution in underground bulk mining: implications for production management. *Mineral Resource Evaluation I: Methods and Case Histories*, **79**:95-108.
- Stewart P.C. 2005. *Minimising dilution in narrow-vein mines*. Doctor thesis- Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland, Queensland, 278p.
- Villaescusa E. 1998. Geotechnical design for dilution control in underground mining. *SINGH AL, Raj K. Mine planning and equipment selection*. **17**:141.