



ESTUDO DE CASO: RENDIMENTO DO DESMONTE NA ABERTURA DA FACE LIVRE NA LAVRA SUBTERRÂNEA MINA CÓRREGO DO SÍTIO NO MUNICÍPIO DE SANTA BÁRBARA, ESTADO DE MINAS GERAIS, NA PORÇÃO NORDESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (QF), COM FOCO NO DESENVOLVIMENTO LOCAL

Adriano Jose de Barros¹

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG–Minas Gerais, Brasil

Júnia Soares Alexandrino²

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG - Minas Gerais, Brasil

Lorena Thainara Diniz³

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG–Minas Gerais, Brasil

Karen Quintão Castro⁴

Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG–Minas Gerais, Brasil

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Adriano Jose de Barros, Júnia Soares Alexandrino, Lorena Thainara Diniz y Karen Quintão Castro (2017): "Estudo de caso: rendimento do desmonte na abertura da face livre na lavra subterrânea mina córrego do sítio no município de Santa Bárbara, estado de Minas Gerais, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), com foco no desenvolvimento local", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (febrero 2017). En línea:

<http://www.eumed.net/rev/caribe/2017/02/mina.html>

RESUMO

O presente ensaio se insere no campo de estudo da mineralogia em sua interface com o levantamento de novas ferramentas para o desenvolvimento de operações no ramo minerário em minas subterrâneas. Objetiva discutir novas possibilidades de projetos para a gestão. Para a coleta de dados foram utilizados os seguintes instrumentos, revisão bibliográfica somado à experimentos técnicos da área mineralógica com foco na abertura de faces livres em mina subterrânea.

Com base nos resultados alcançados no estudo temos o sucesso da abertura da face livre, conhecida como *slot raise*, este em lavras subterrâneas é primordial para dar sequência às operações mineiras e determinantes em termos de custos operacionais da mina. O estudo irá explicar os fatores que levavam ao não cumprimento ou cumprimento parcial das metas operacionais relacionadas a abertura de *slot's raise* e apresentar técnicas e ferramentas que possibilitaram a obtenção de resultados satisfatórios que acarretam ganho de capital no processo.

Palavras chave: *slot raise*, *sublevel stoping*, rendimento.

ABSTRACT

The present work is inserted in the field of study of mineralogy and in its interface with the search for new tools for the development of operations in the underground mining sector. The objective is to discuss new possibilities of projects for management. The instruments utilized to collect the data were the bibliographic review and technical experiments from the mineralogical area focusing on the opening of slots in underground mines.

¹Mestre em Educação e Desenvolvimento Local. Professor Geoprocessamento, UEMG. E-mail: adrianojosebarros@yahoo.com.br.

²Doutorado em Tecnologia Mineral pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor na UEMG

³Engenharia de Minas. Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG E-mail: lorenatdiniz@gmail.com

⁴Engenharia de Minas, Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG. E-mail: kakaqcastro@hotmail.com

Based on the results of the study, is presented the successful opening of the slot, also known as slot raise. The slot raise is essential for the development of underground mining operations and is extremely relevant to the mining operational cost. The present study aims explain the factors which may cause the non-accomplishment or partial accomplishment of the operational goals related to the opening of slots raise, and to present technics and tools that may allow the obtaining of satisfactory results which consequently promote the gain of capital in the process.

Key words: slot raise, sublevel stoping, yield.

1 INTRODUÇÃO

Em operações de perfuração e desmonte de rochas em mina subterrânea, a geração de face livre inicial, conhecido como *slot raise*, é um ponto crítico para o sucesso da escavação em questão. *Slot raise* é a abertura necessária para que ocorra a lavra de tiras verticais de minério em alguns métodos de lavra subterrânea.

A abertura bem-sucedida de *slot's raise* para a criação da face-livre é fundamental para a redução de custos da mina. Fatores como qualidade do maciço rochoso, precisão de perfuração e sequência de carga devem ser cuidadosamente projetados para não resultar em falha parcial ou total da detonação, como ocorriam em algumas situações.

O método sublevel stoping consiste na abertura de um grande realce – *Slot Raise* - seguido de leques, que são linhas verticais, resultante das perfurações verticais realizadas em subníveis desenvolvidos no corpo mineral ou em seus contatos. Sem a abertura correta da face livre, o desmonte dos leques fica prejudicado.

O estudo faz referência a mina subterrânea de Córrego do Sítio I, da empresa AngloGold Ashanti, localizada no município de Santa Bárbara, Minas Gerais, é formada por três conjuntos de corpos principais denominados Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria. Quanto à metodologia utilizada, tem caráter de pesquisa aplicada com abordagem qualitativa, quanto ao meio é considerada pesquisa quantitativa, e quanto aos fins, classificada como exploratória; este então apresenta os fatores que influenciam na perda parcial ou total da face livre.

Foram analisados os aspectos geomecânicos dos maciços rochosos, a fim de se obter práticas de inovação que resultem em um melhor desempenho da perfuração, levando em consideração a qualidade da rocha e colocar em teste alguns fatores com o objetivo de melhorar o desempenho do desmonte na abertura da face livre, como estudar o sistema de perfilagem com reflex para análise dos desvios dos furos, obtendo pôr fim a maximização do aproveitamento do corpo mineral lavrado.

2 METODOLOGIA

A pesquisa pode ser classificada, de forma padrão, em aplicada com abordagem qualitativa. Segundo Collis e Hussey (2005), a pesquisa aplicada: “é aquela que foi projetada para aplicar suas descobertas a um problema específico existente”. Nesta pesquisa, houve mudanças de projetos e de atividades a partir dos parâmetros analisados para as atividades de desmonte de face livre da lavra subterrânea.

Quanto aos meios, a pesquisa tem abordagem quantitativa. Este tipo de abordagem é utilizado quando a pesquisa interpreta e reflete em cima de dados obtidos. Nesta pesquisa, foram obtidos parâmetros da lavra subterrânea, esses interpretados para se chegar a maior rendimento de detonação de abertura de face livre (FRANÇA; 2009).

Quanto aos fins ou objetivo, a pesquisa pode ainda ser classificada como exploratória segundo Collis e Hussey (2005), esta é realizada sob um problema onde há pouco ou nenhum estudo anterior onde possamos basear a presente pesquisa. Na Mina Córrego do Sítio I, a partir de uma análise histórica do problema recorrente sobre perda de massa da detonação de *slot's raises* foram avaliados teorias e conceitos já existentes que poderiam ser aplicados a fim de solucionar o problema em questão. Dessa forma foi realizado primeiramente um banco de dados que reunia as características gerais do problema, seguido de uma revisão bibliográfica a fim de obter embasamento sobre o assunto.

Os materiais utilizados foram necessários para se obter o acompanhamento detalhado dos projetos e resultados das detonações dos mesmos.

Software Datamine

Segundo CAE Datamine Brasil LTDA (2011), Datamine é um software que é utilizado para processar dados. Dentro da mineração é utilizado para exploração, modelagem de recursos, planejamento da mina, produção da mina, dados de mineração e gerenciamento de processos. DATAMINE / M24D: O software foi utilizado para visualização de realces planejados e lavrados, projetos de perfuração, arquivo de furos perfilados, galerias desenvolvidas e arquivos de escaneamentos feitos pela equipe de topografia.

Aparelho de perfilagem Reflex

O aparelho da marca Reflex é utilizado para medir os desvios de furos feitos pelos equipamentos de perfuração (*fandril*). As leituras são realizadas de metro em metro, podendo ser ajustadas de acordo com a necessidade e do nível de detalhes desejado. Além do aparelho de campo, é necessário haver um sistema de importação de dado chamado SProcess para tratamento e a obtenção de arquivos de visualização em Datamine.

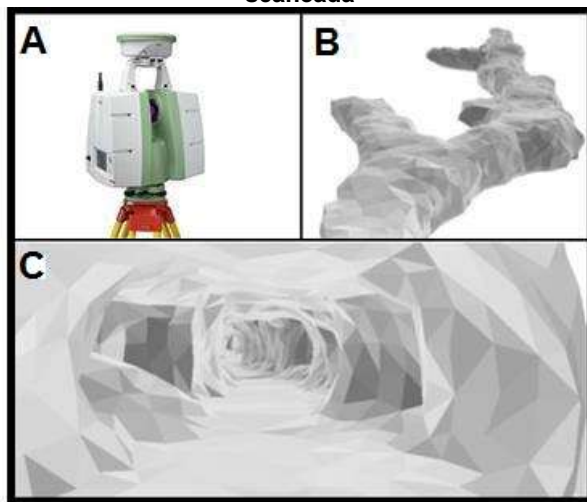
Laser scanner

Segundo Rocha (2002), o sistema de scanner a laser é um método de levantamento topográfico desenvolvido para descrever as informações em grande escala, de maneira rápida e direta, além de tridimensional do lugar.

Na presente pesquisa, ele será utilizado para observação dos resultados dos desmontes, uma vez que os realces são scaneados após a lavra e a nuvem de pontos topográficos gerados durante o scaneamento gera o arquivo em *wireframe* (sólido) para análise.

Segue a imagem (Figura) do aparelho laser scanner (a), com o escaneamento de uma galeria da mina Córrego do Sítio (b) e visualização do interior da galeria (c).

Figura 1: A) Aparelho Reflex Leica modelo C10. B) Galeria scaneada C) Visão interna da galeria scaneada



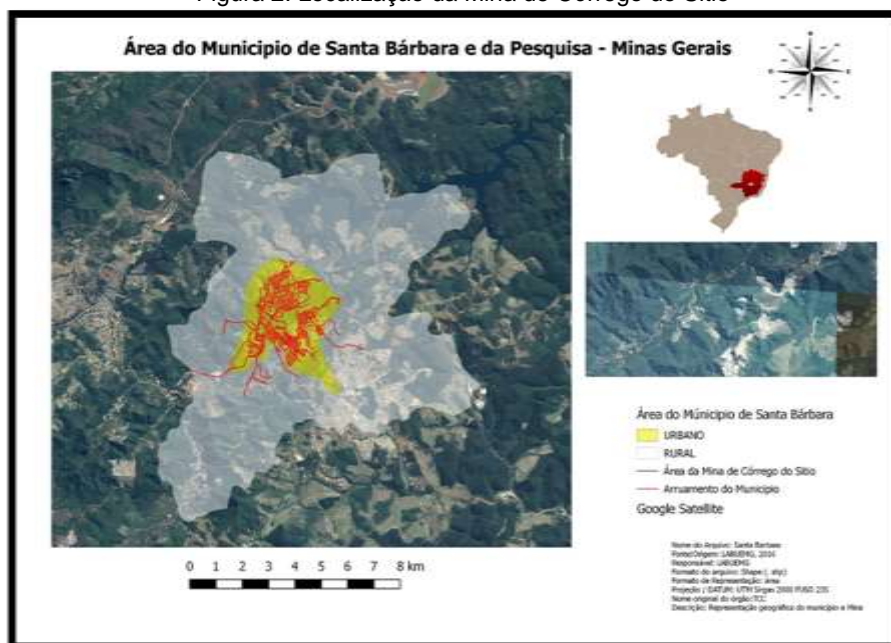
Fonte: AngloGold Ashanti (2015)

3 Informações gerais da Mina Córrego do Sítio

No ano de 1981, a equipe da Unigeo Ltda realizou um trabalho de mapeamento geológico e análises geoquímicas de solo, sedimentos de corrente e rochas provenientes da região em que se localiza atualmente o depósito aurífero do Córrego do Sítio. Com os dados obtidos na prospecção e na pesquisa foram identificadas áreas anômalas de ouro (Au) associadas com Arsênio (As) e Antimônio (Sb) na direção NE-SW (LIMA et al, 200?).

A Mina de Córrego do Sítio está localizada no Município de Santa Bárbara, estado de Minas Gerais, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), distando cerca de 120 Km da capital mineira Belo Horizonte (LOPES et. al, 2007), como mostra a Figura 2.

Figura 2: Localização da Mina de Córrego do Sítio



Fonte: Adaptado ARCGIS 10.4 (2016)

A mina pertence à empresa AngloGold Ashanti que no ano de 1990 deu início ao processo de lavra, a céu aberto, do minério oxidado da mina. No entanto a partir de 2002, com os avanços nas pesquisas geológicas, determinou-se o potencial minério e deu-se início as operações de lavra subterrâneas do minério sulfetado, o que ocorre até o momento.

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero é conhecido, internacionalmente, como uma importante área mineral, com quase 7000 Km² de terreno pré-cambriano no qual estão inseridos metais importantes como ouro e ferro (AZEVEDO et.al, 2010). Devido a sua importância mineral, grandes empresas do setor estão instaladas nesta região, tais como: AngloGold Ashanti, Vale, entre outras.

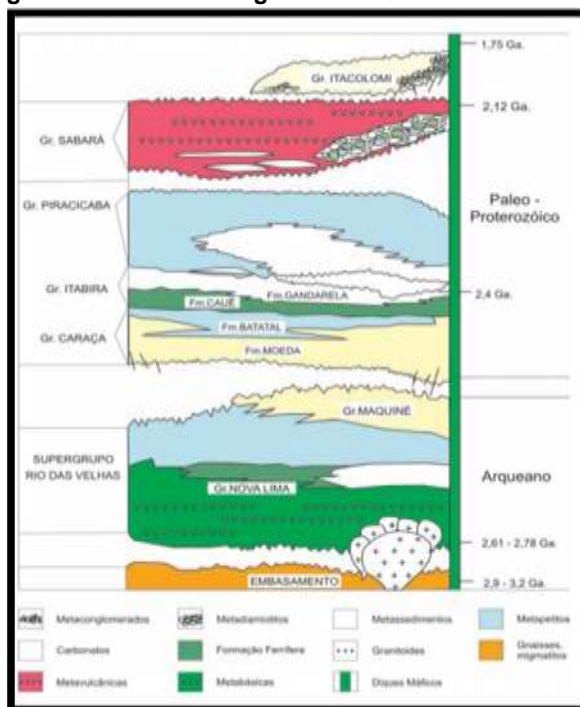
De acordo com Azevedo et. al, 2010, a geologia do Quadrilátero Ferrífero compreende:

[...] uma sequência de *greenstone belt* arqueana, representado pelo Supergroup Rio das Velhas, cercada por terrenos granito-gnáissicos arqueanos, que são sobrepostos por uma sucessão de rochas sedimentares de idade paleoproterozóica, o Supergroup Minas.

O supergrupo Minas é composto principalmente de metassedimentos pelíticos e quartzosos e está localizado acima do supergrupo Rio das Velhas. Como mostra a coluna estratigráfica apresentada na

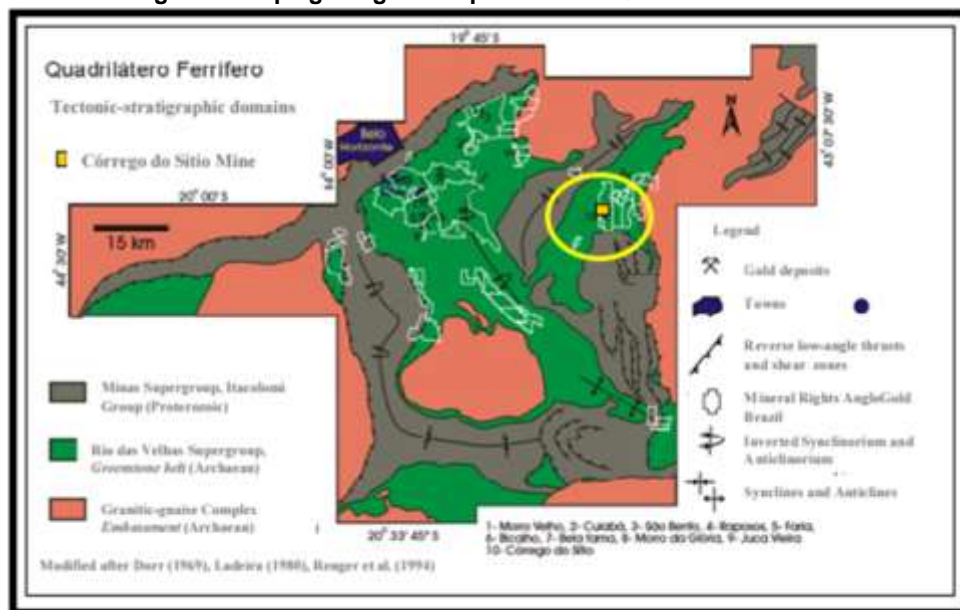
Figura 3, o supergrupo Minas é dividido em quatro grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (ROSIÉRE; CHEMALE, 2000). Dentre os quatro grupos, o grupo Itabira é maior destaque economicamente, pois contém grande jazidas de minério de ferro, compostos por itabiritos e *Banded Iron Formations (BIF's)*. Já o grupo Itacolomy é composto por quartzitos.(ROESER; ROESER, 2010). A Figura4 apresenta o mapa geológico simplificado da região do Quadrilátero Ferrífero.

Figura 3: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Alkmim&Marschak (1998)

Figura 4: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: VIEIRA et.al(2015) Adaptado PORTO (2008)

3.2 Geologia da mina

Segundo Lopes (2007), as rochas da Mina Córrego do Sítio, são pertencentes ao Grupo Nova Lima que faz parte do Supergroup Rio das Velhas. O modo de ocorrência das rochas se dá em sequência tipo *greenstone belt*.

O minério está abrigado em rochas metassedimentares que apresenta como componentes mineralógicos a clorita, mica branca e quartzo em forma de *boudins* (DAVID,2006), além de minerais como pirrotita, bertierita, pirita e calcopirita (RIBEIRO; MUNIZ, 2015).

O depósito de Córrego do Sítio consiste de lentes estreitas mineralizadas e alongadas na direção norte-leste/sul-oeste, com inclinação de 60° para 70° sul-leste e mergulho 20 para 30°

norte-leste. Córrego do Sítio é um depósito orogênico e compreende muitos filões hidrotermais com veios de quartzo e conteúdo de baixo sulfeto disseminados nas paredes das rochas. Os depósitos são estreitos, alongados e com dobras. Em geral as mineralizações consistem de zonas sericiticas e veios de quartzo. O ouro ocorre com inclusões microscópicas ou submicroscópicas de arsenopirita e algumas vezes berthierita.

4 Mineração subterrânea

A mineração subterrânea é definida como uma lavra, ou seja, processo de extração de minerais, executada abaixo da superfície de um terreno. Esse método é amplamente utilizado quando a área possui um grande capeamento, que seria inviável financeiramente sua retirada a céu aberto, ou por outros motivos como área de reserva ambiental, área próxima a centros urbanos ou lamina d'água (LIMA, 2014). O Quadro 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens da lavra subterrânea e da lavra a céu aberto.

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens dos métodos de lavra subterrânea e a céu aberto

Método de Lavra	Vantagens	Desvantagens
Lavra a Céu Aberto	<ul style="list-style-type: none">- Utilização de equipamentos de grande porte, gerando grandes produções diárias;- Facilidades de observações e supervisão dos serviços;- Melhor higiene, iluminação, menores problemas de escoamento de água e ventilação.	<ul style="list-style-type: none">- Imobilização de grandes áreas superficiais com a lavra do minério e com a construção de depósitos de estéreis e barragens de rejeitos;- Influência climática (chuvas abundantes) pode suspender a lavra temporariamente;- Maiores gastos com recuperação ambiental.
Lavra Subterrânea	<ul style="list-style-type: none">- Menor gasto com a recuperação ambiental na superfície do terreno- Evita a paralisação da produção em função do mal tempo;- Não necessita de grandes movimentações de rochas estéreis;- Não expõem os trabalhadores às inclemências do tempo.	<ul style="list-style-type: none">- Maior probabilidade de ocorrência de acidentes;- Maiores investimentos do que na lavra a céu aberto (consumo maior de energia elétrica);- Grandes dificuldades operacionais em função da limitação pelo tamanho/dimensões das galerias;- Necessita de mão de obra especializada para operação das máquinas.

Fonte: Lima (2014)

O desenvolvimento da mina subterrânea começa após o estudo de viabilidade da mina, escolha do método de lavra e a liberação de licenças ambientais. A partir dessas etapas é feita o primeiro acesso a mina com a abertura de *Shaft* e/ou rampa inclinada (RIBEIRO; MUNIZ, 2015).

4.1 Seleção do método de lavra

A seleção do método de lavra é um importantíssimo ponto para o sucesso ou fracasso de um empreendimento mineiro. A seleção do melhor método de lavra para mina subterrânea é definida, segundo Gama, 2008, observando alguns pontos como:

- a) A Morfologia do depósito mineral, isto é: sua forma, tamanho e posição;
- b) Distribuição dos teores do mineral de interesse;
- c) Propriedades mecânicas da rocha e do minério a ser lavrado;
- d) Recursos financeiros do empreendimento;
- e) Segurança, higiene e obediência a legislação que regulamenta esse tipo de empreendimento;

- f) Relação da lavra com outras atividades subsidiárias, tais como: sistema de ventilação da mina, drenagem, instalações elétricas e etc.

Além dos pontos ditos anteriormente, Viera et.al (2015), menciona também a importância do valor dos recursos minerais a serem lavrados e a disponibilidade de recursos técnicos para a retirada do mineral como fatores importantes na escolha do método.

4.2 Métodos de lavra subterrânea

Existem em torno de 12 métodos de lavra subterrânea, sendo que cada um desses métodos apresenta diversas variantes de acordo com as características de cada mina onde são empregados. É muito comum que uma mesma mina utilize métodos diferentes para lavar ou ao longo dos anos os métodos de lavra subterrânea possam ser alterados devido ao melhor conhecimento do corpo mineral e a viabilidade econômica (LIMA, 2014).

Os métodos de lavra subterrânea são classificados primeiramente em três grandes grupos de acordo com o apoio do maciço rochoso. São eles:

- a) Método com realces autoportantes;
- b) Método com suporte das encaixantes;
- c) Método com abatimento;

O método de realce autoportantes é essencialmente autossustentado, costumam exigir elevada continuidade e homogeneidade da qualidade do minério e não necessitam de grande sistema artificial de apoio para transportar cargas superpostas. Podem ser utilizados parafusos de rochas, estruturas leves de madeira ou aço, desde que tais suportes artificiais não alterem significativamente a carga de transporte capacidade da estrutura natural (OKUBO; YAMATOMI, 2017). A diluição costuma ser baixa, devido à estabilidade das encaixantes e em geral são métodos de alta produtividade, face à simplicidade das operações conjugadas empregadas. (RIBEIRO; MUNIZ, 2015). Os métodos de lavra subterrânea que se encaixam a esse grupo são:

- a) Câmeras e pilares (*Room and Pillar Mining*)
- b) Recalque (*Shrinkage Stopping*)
- c) Subníveis (*Sublevel Stopping*)

O método com suporte das encaixantes exige um apoio artificial para manter a estabilidade em aberturas de exploração (OKUBO; YAMATOMI, 2017). Possui menor produtividade se comparado com os métodos anteriores (RIBEIRO; MUNIZ, 2015). Encaixam-se nesse método:

- a) *Stull Stopping*
- b) Corte e enchimento (*cut and fill*)
- c) *Square - set stopping*

O método com abatimento é projeto para fazer com que a rocha entre em colapso e caia (OKUBO; YAMATOMI, 2017). Esse método apresenta alta produtividade e alta diluição (RIBEIRO; MUNIZ, 2015). Enquadram-se nesse método:

- a) Abatimento por blocos (*Block Caving*)
- b) *Sublevel Caving*
- c) *Longwall*.

4.3 Método Sublevel Stopping

O método *sublevel stopping* é um dos métodos mais utilizados em lavras subterrâneas na América do sul e apresenta três variações, onde a maior diferença entre elas se refere à forma como a perfuração e os desmontes são realizados. São elas:

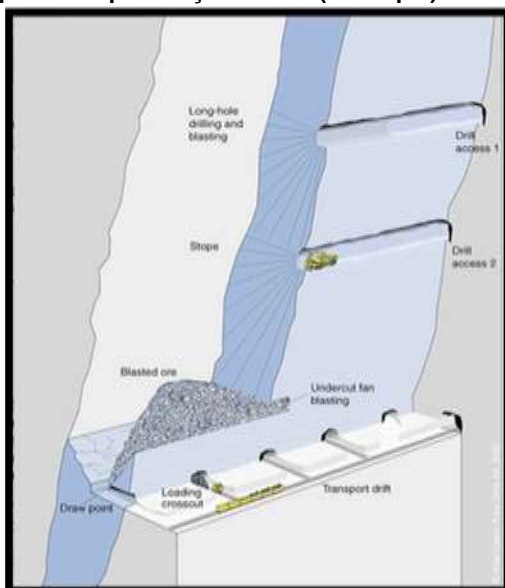
- a) Perfuração de Furos Longos (*Open-Ending Method*): a perfuração é realizada verticalmente e o desmonta-se fatias verticais.
- b) Perfuração Radial (*Blasthole Method*): a perfuração é feita em um padrão radial e o desmonte é feito em fatias verticais do corpo de minério.
- c) *Vertical Crater Retreat* (*VCR Method*): a perfuração é vertical, como no *Open-Ending Method*, e o desmonte são feitos em fatias horizontais.

Esse método consiste na abertura de um acesso central, conhecido como realce, resultante de perfurações realizadas em subníveis desenvolvidos no corpo mineral e em seus contatos (capa e lapa) com a utilização de explosivos. Também são desenvolvidos os *draw points* ou pontos de carregamento, local onde acontece a retomada do minério desmontado, estes são feitos nas encaixantes, preferencialmente na lapa, e tem como objetivo evitar a presença de maquinários e trabalhadores no realce aberto. A lavra é feita em recuo das extremidades do corpo em direção ao realce. Posteriormente, as escavações são preenchidas com estéril (geralmente retirados da atividade de desenvolvimento da mina), permitindo a sua disposição no interior da mina e os trabalhos com menores vãos expostos, evitando-se abatimentos de grandes proporções, e aumentando a recuperação na lavra.

De acordo com Mitchel (1981), Harim (1982), Mann (1982) e Haycocks e Aelick (1992), citado por Oliveira 2012, esse método exige algumas características do minério e do depósito, como: o minério ter competência de moderada a elevada e as rochas encaixantes competência alta; O depósito deve apresentar formato tabular ou lenticular; teores do minério tendendo a uniforme; e o mergulho do corpo mineral deve ser maior que o ângulo de repouso do minério desmontado.

O ângulo da perfuração para o desmonte pode sofrer variações, de forma que pode ser feito a perfuração radial (Figura 5), a perfuração de furos longos ou ainda a perfuração vertical (VCR) (OLIVEIRA, 2012).

Figura 5: Esquema de perfuração Radial (em leque) do *Sublevel Stopping*



Fonte: InfoMine-Mining Technology Illustrations (2012)

A utilização desse método de lavra apresentada algumas vantagens e desvantagens que devem ser observadas para o sucesso de sua utilização. O Quadro 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens do *Sublevel Stopping*.

Quadro 2: Vantagens e Desvantagens do Método *Sublevel Stopping*

Vantagens	Desvantagens
-----------	--------------

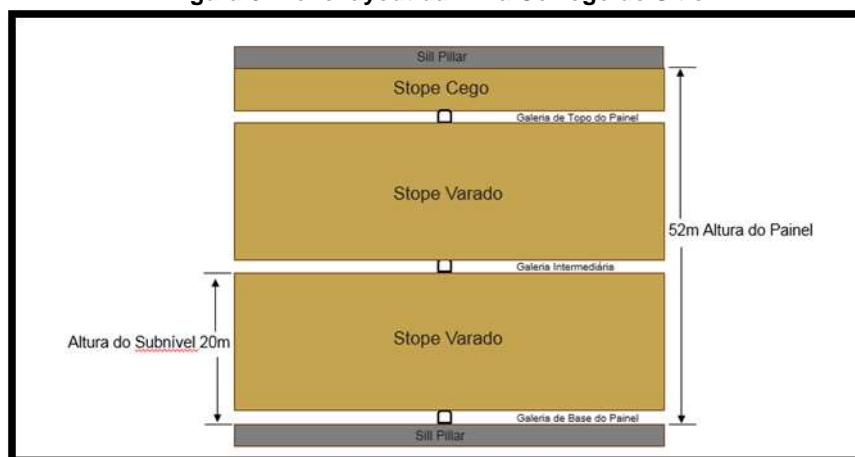
Produtividade de moderada a alta. Custo de lavra moderado. Escala de produção variando de moderada a alta. Presta-se a mecanização. Baixo custo de desmonte, e custo de movimentação desse material relativamente baixo. Pequena exposição a condições de perigo e fácil ventilação. Simultaneidade das operações unitárias. Boa recuperação (cerca de 75%). Diluição moderada.	Desenvolvimento complicado e com custos elevados. Planejamento de lavra inflexível. Requer perfuração precisa (desvios menores do que 2%) Grandes desmontes podem causar vibrações significantes e dano estrutural.
---	--

Fonte: Adaptado Hartman e Mutmanský (2002)

5 RESULTADO DE DADOS DOS MÉTODOS PRÁTICOS DA PESQUISA

A presente pesquisa consiste em analisar as causas para o baixo rendimento da detonação de *slot's raises* que vinha ocorrendo na lavra desde que o layout da mina Córrego do Sítio I (Figura 6) foi alterado, apresentando a partir de então maior altura de subnível, conseqüentemente maior altura e maior complexidade de perfuração e desmonte.

Figura 6: Novo layout da mina Córrego do Sítio I



Fonte: AngloGold Ashanti (2015)

Utilizando o software Datamine e scanearno topográfico e apresentar a ferramenta perfilagem de Reflex como solução para tais problemas.

O primeiro Projeto é o 31/15, localizado na mina Carvoaria, nível 628 e corpo 330N e o segundo, Projeto 85/16, na mina Carvoaria nível 628 corpo 330 SUL, ambos realizados na mina Córrego do Sítio I.

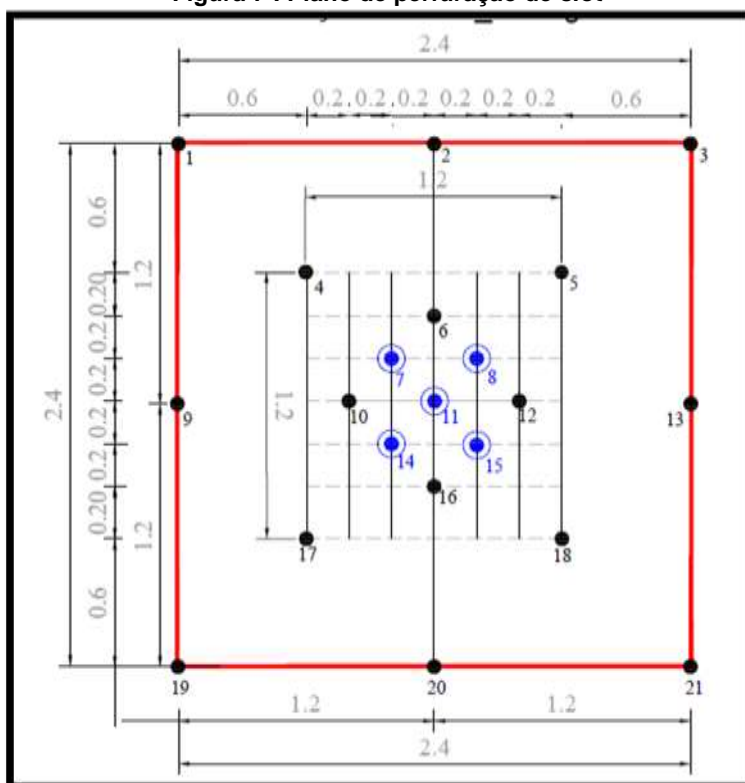
Faz-se necessário dizer que o primeiro projeto a ser citado apresentará o problema em questão; já no segundo projeto será descrito o procedimento que veio a solucionar o frequente problema.

Carvoaria nível 628 e corpo 330N

Para a total abertura de face livre são imprescindíveis algumas análises, como: comprimento do *slot*, área da chaminé, número de furos alargados e carregados e plano de perfuração (Figura 7).

- a) Lavra cega
- b) Comprimento do *Slot*: 15 metros
- c) Chaminé: 2,4m x 2,4m
- d) Diâmetro furos alargados: 64 mm
- e) 05 furos alargados
- f) Diâmetro furos carregados: 127 mm
- g) 16 furos carregados
- h) 21 furos no total

Figura 7 : Plano de perfuração de *slot*



Fonte: AngloGold Ashanti (2015)

A perfuração foi realizada com o equipamento *fandril*, utilizando os padrões adequados descritos na Figura8 seguinte:

Figura 8: Parâmetros adequados para perfuração em CDSI

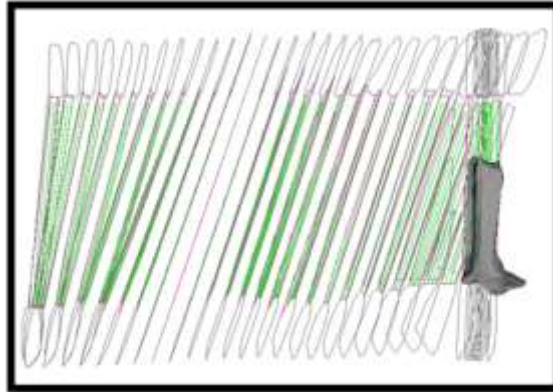
Parâmetros de perfuração mina Córrego do Sítio I			
Pressões (bar)		Mínimo	Máximo
Pressão de percussão	Potência total	-	160
	Meia potência	-	110
Pressão de rotação		60	80
Pressão de avanço		Apenas o necessário	
Pressão de água		3	20

Fonte: AngloGold Ashanti(2015)

Posterior à finalização da perfuração do *slot* foi realizado o sequenciamento de detonação dos furos, tal sequenciamento é definido iniciando do furo carregado de maior proximidade a furos alargados, buscando sempre obter menor volume de rocha desmontada em função de seu furo alargado de maior proximidade.

Feito o desmonte do *slot*, a equipe topográfica realizou o scaneamento da galeria afim de se obter dados do rendimento da detonação. Na imagem a seguir (Figura9) está representado na cor cinza a massa desmontada e pelas linhas o que havia sido planejado para desmonte.

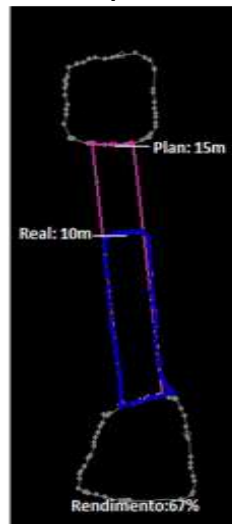
Figura 9: Scaneamento topográfico juntamente com projeto de *slot* e leque em Datamine



Fonte: AngloGold Ashanti(2015)

Pode-se observar que houve um *under break* da massa planejada no desmonte do *slot raise*. Com o auxílio do Datamine temos a seguinte imagem que mostra a comparação do que foi realizado pelo que foi planejado (Figura10).

Figura 10: Scaneamento do desmonte; as linhas rosas representam a área planejada para desmonte e as linhas azuis representam o que foi desmontado



Fonte: AngloGold Ashanti(2015)

O rendimento do desmonte aceitável é igual ou superior a 90% e é obtido através do seguinte cálculo:

$$Rendimento = \left(\frac{Altura realizada}{Altura planejada} \right) \times 100$$

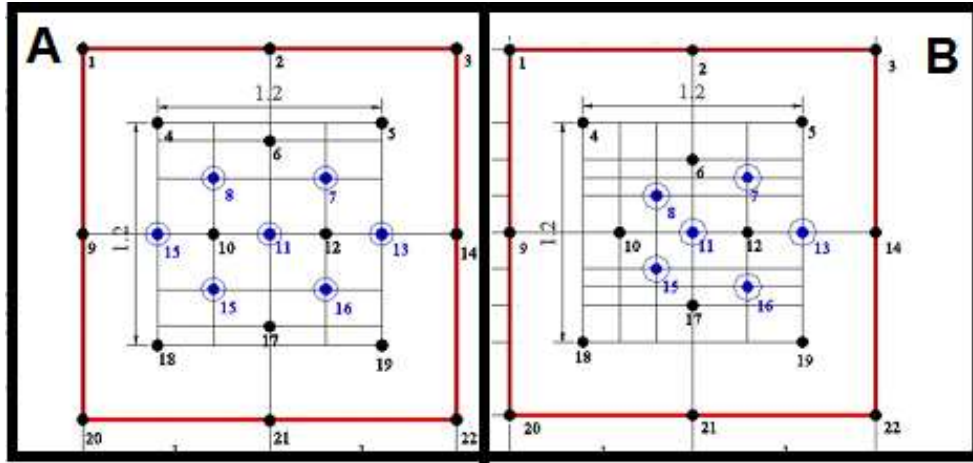
O desmonte do projeto de *slot* da CV 628 330N obteve rendimento igual a 67%, número insatisfatório, representando além de perda de massa de minério do *slot* a não abertura de face livre necessária para detonação dos leques posteriores.

5.1 Alterações de práticas operacionais

A partir de estudos sobre o *slot* apresentado anteriormente e vários outros que apresentaram problemas no decorrer do tempo, obteve-se algumas hipóteses sobre tais resultados e medidas foram tomadas, onde alteraria algumas práticas operacionais relacionadas a:

- a) Relação da qualidade do maciço rochoso e plano de perfuração: Adequação do plano de perfuração (Figura 11) de acordo com a classificação de qualidade da rocha do *slot raise* dado pelos fatores RMR e resistência estudados pela mecânica de rochas.

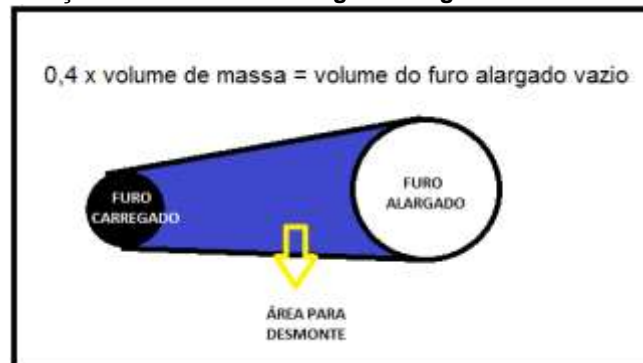
Figura 11: Plano de perfuração. A: Plano de perfuração para maciço rochoso de qualidade muito ruim a razoável. B: Plano de perfuração para maciço rochoso de qualidade boa a extremamente boa



Fonte: AngloGold Ashanti (2015)

- b) Fatores de empolamento da rocha: Estabelece a relação dos furos carregados e alargados (
- c) Figura 12), onde:

Figura 12: Relação: massa X furo carregado/alargado X fator de empolamento



Fonte: AngloGold Ashanti (2015)

Ou seja, o volume da área para escoamento, o furo alargado, deve ser igual a quarenta por cento do volume de empolamento da área desmontada. Desse modo, a partir do fator de empolamento local, é definido o diâmetro de alargamento dos furos.

- d) Fatores operacionais: Condiz com a atuação do operador no ato de perfuração, garantindo que esteja usando os parâmetros corretos definidos anteriormente pela equipe técnica.
- e) Tomar conhecimento dos desvios dos furos utilizando a perfilagem de reflex, com o aparelho EZ-AQ, onde é feita a leitura das coordenadas geográficas de furo a furo por meio de infravermelho, e esse tratado no software Datamine fornece a visão tridimensional comparando a perfuração que foi planejada com a realizada.
- f) Ordenar a detonação dos furos carregados de acordo com a interpretação do que foi realizado, e não do que foi planejado como era feito.
- g) Alterar o tipo de explosivo utilizado para espoleta eletrônica i-kon, que permite temporalizá-lo em até 30.000 mili segundo, aumentando assim o tempo para detonação e para o escoamento da rocha já desfragmentada.

Carvoaria nível 628 e corpo 330S

Após todo estudo e tomada as medidas adequadas, temos como exemplo o *slot* localizado na mina Carvoaria, corpo 628, nível 330sul que apresenta as seguintes características:

- a) Lavra cega
- b) Comprimento do *Slot*: 17 metros
- c) Chaminé: 2,0m x 2,0m

Seguindo as medidas adotadas, foram analisados os seguintes aspectos:

- a) Estudo do maciço rochoso

O objetivo desta avaliação é determinar os parâmetros de qualidade do maciço rochoso a partir das classificações geomecânicas Q e RMR, juntamente com a identificação de estruturas singulares.

Foram levantados os parâmetros Q e RMR (Figura13) através do modelo de blocos geotécnico. Esse procedimento é realizado através da interpolação dos parâmetros que foram levantados por meio de mapeamentos e/ou descrição de furos.

Os resultados obtidos foram:

- Q= 12
- RMR= 65

Figura 13: Parâmetros de qualidade do maciço rochoso

Intervalos Q	Qualidade do maciço	Intervalos RMR	Qualidade do maciço
0,1 - 1	Muito Fraca	0 - 20	Muito fraca
1 - 4	Fraca	20 - 40	Fraca
4 - 10	Razoável	40 - 60	Razoável
10 - 40	Boa	60 - 80	Boa
40 - 100	Muito boa	80 - 100	Muito boa
100 - 400	Extremamente boa		

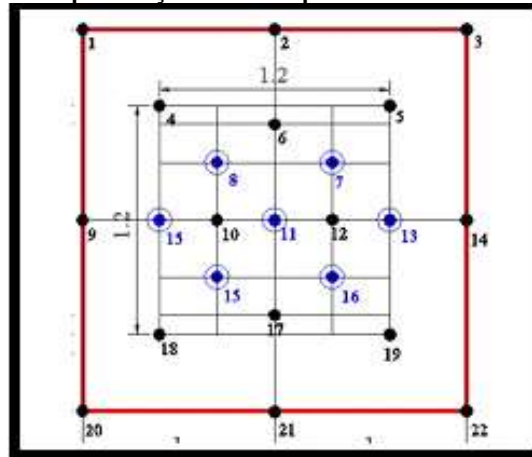
Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Conforme avaliado, as classificações RMR e Q indicaram uma qualidade no limite entre “Boa” e “Boa”, respectivamente. Entretanto, foi observada uma estrutura crítica passando próximo ao *footwall* do *slot*. Recomenda-se, portanto, aplicar parâmetros de perfuração/desmonte para maciço rochoso de qualidade ruim.

- b) Definição do plano de perfuração

Conforme passado o estudo geomecânico, embora a rocha sendo de qualidade “boa”, esta pode sofrer influência de ocorrências geológicas próximas sendo utilizado então plano de perfuração para rocha de qualidade “ruim”. Este plano (Figura14) apresenta 23 furos, sendo 16 deles carregados, e 7 alargados de 7 polegadas.

Figura 14: Plano de perfuração definido para o *slot raise* da CV628/648 330S



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

c) Parâmetros operacionais

Para realização da perfuração são definidos parâmetros. Tendo como parâmetro padrão em CDSI a Figura15:

Figura 15: Parâmetros de perfuração

Parâmetros de perfuração mina Córrego do Sítio I			
Pressões (bar)		Mínimo	Máximo
Pressão de percussão	Potência total	-	160
	Meia potência	-	110
Pressão de rotação		60	80
Pressão de avanço		Apenas o necessário	
Pressão de água		3	20

Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

E como parâmetro específico para o *slot* do corpo 628 (Figura16), tem-se:

Figura 16: Parâmetros específicos do corpo 628

Ângulos do furo	
Giro	74°
Báscula	0°
Diâmetro dos furos	
Furos Carregados	3"
Furos Alargados	7"

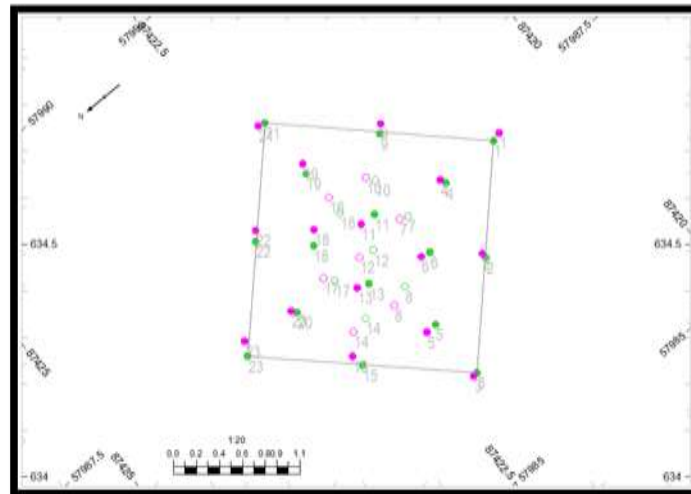
Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

d) Perfilagem com reflex

Depois de finalizada a perfuração, foi realizada a leitura dos furos com o instrumento de reflex EZ-AQ, e os dados tratados pelo software Datamine fornecendo informações sobre os desvios ao longo dos furos.

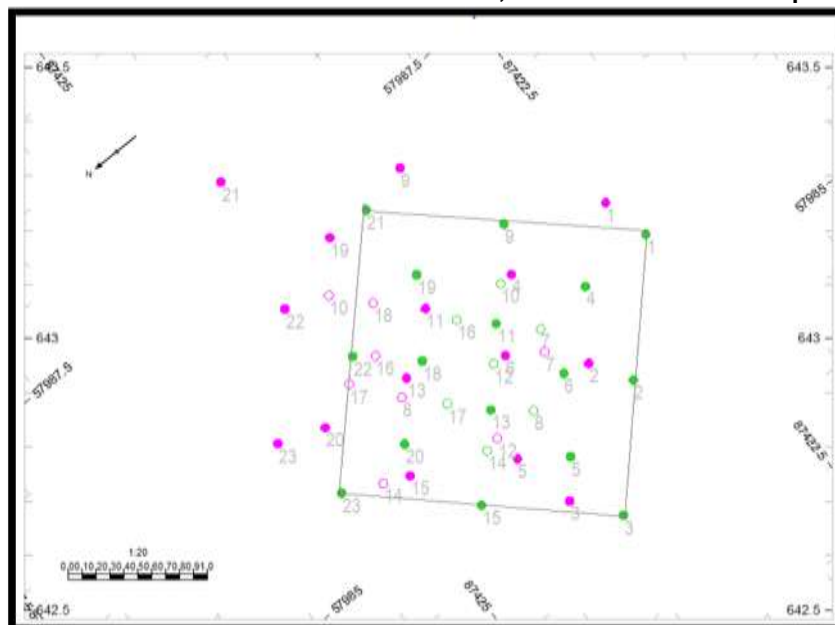
As figuras representam o resultado da perfilagem, onde temos representado pela cor verde a posição planejada de cada furo, e pela cor rosa temos a posição de cada furo realizado, sendo a primeira imagem do emboque dos furos (Figura17), a segunda imagem em um corte de 9 metros (Figura18) e a terceira imagem em um corte de 16 metros (Figura19).

Figura 17: Corte no emboque dos furos, furos realizados X furos planejados



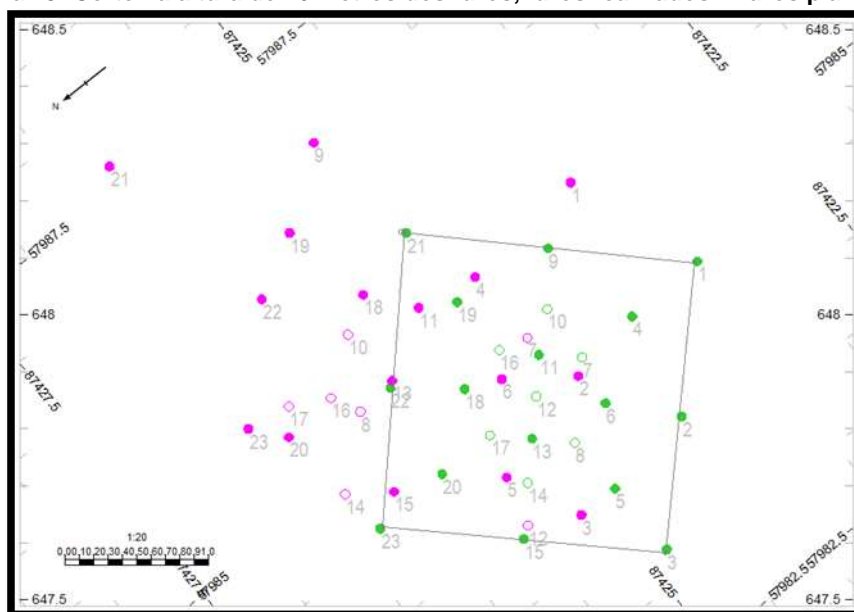
Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Figura 18: Corte na altura de 9 metros dos furos, furos realizados X furos planejados



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Figura 19: Corte na altura de 16 metros dos furos, furos realizados X furos planejados



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Nota-se então que todos os furos desviaram, uns apresentando mais desvio que os outros ao longo da perfuração, a Figura 20 a seguir apresenta a distância em metros de cada furo realizado de seu respectivo furo planejado.

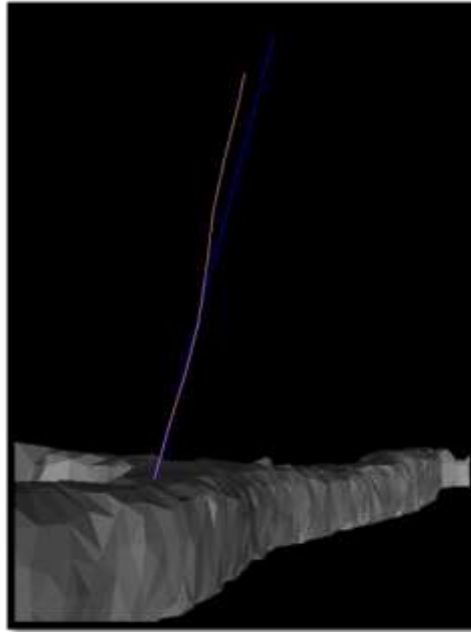
Figura 20: Desvios da perfuração ao longo dos furos

	Emboque (m)	9m (m)	15m (m)
Furo 01	0,084	0,372	1,028
Furo 02	0,051	0,345	0,765
Furo 03	0,041	0,403	0,635
Furo 04	0,054	0,532	1,116
Furo 05	0,101	0,378	0,750
Furo 06	0,083	0,434	0,735
Furo 07	0,076	0,167	0,401
Furo 08	0,185	0,941	1,494
Furo 09	0,074	0,840	1,772
Furo 10	0,086	1,224	1,385
Furo 11	0,142	0,513	0,891
Furo 12	0,134	0,531	0,893
Furo 13	0,108	0,639	1,039
Furo 14	0,154	0,773	1,260
Furo 15	0,113	0,548	0,944
Furo 16	0,164	0,630	1,207
Furo 17	0,100	0,716	1,402
Furo 18	0,138	0,540	0,955
Furo 19	0,088	0,670	1,250
Furo 20	0,050	0,577	1,086
Furo 21	0,063	1,056	2,126
Furo 22	0,095	0,589	1,077
Furo 23	0,130	0,572	1,139

Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

O furo 17, como mostra a Figura 21 a seguir, ele teve início da perfuração próxima a planejada, porém, próxima ao corte de 9 metros iniciou o desvio da perfuração e este foi progressivo, apresentando por fim uma distância de 1,4 metros de onde ele deveria ser.

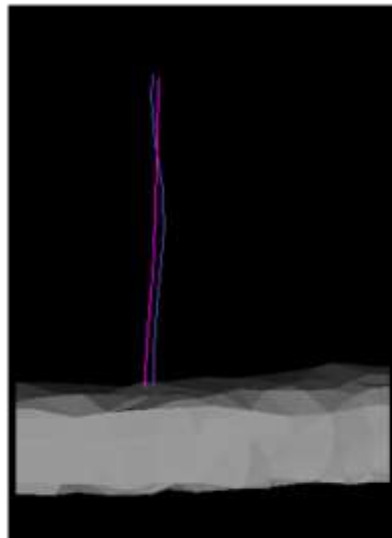
Figura 21: Representação gráfica referente ao furo 17, onde a cor azul representa o furo planejado e a cor bege representa o furo realizado



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Os furos 7 e 12, são furos centrais do plano de perfuração, onde o furo 7 está locado em uma linha anterior a linha do furo 12, na imagem a seguir (Figura22) podemos perceber que em vista frontal, cada um teve um sentido do desvio, onde o furo 7 desviou em avanço, e o furo 12 em recuo.

Figura 22: Furo 7 representado pela cor roxa e furo 12 representado pela cor rosa



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

- e) Foram analisados os furos e seus desvios, assim montou-se o sequenciamento de carga, tomando como base a detonação dos furos carregados de acordo com sua proximidade com furos alargados, partindo da região central para as extremidades.

Sendo definido então na seguinte ordem:

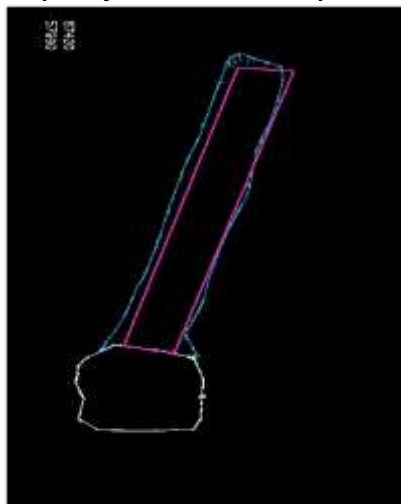
13 – 18 – 11 – 6 – 20 – 19 – 5 – 4 – 15 – 22 – 2 – 3 – 9 – 23 – 1 – 21

O furo 13 se encontra próximo a três furos alargados, furo 8, furo 16 e 10; essa proximidade é imprescindível para o início da detonação onde a área alargada dos três furos irá permitir o escoamento do material desmontando do primeiro furo carregado, aumentando então o espaço

de vazão de massa dos furos seguintes. Nota-se que os furos finais como 23, 1 e 21, são furos de extremidade e possuem todo o meio já desmontado e aberto para sua vazão.

Montado e sequenciamento de carga e detonado, o *slot* apresentado obteve 100 % de rendimento como mostra a Figura 23, onde o planejado era de 17 metros e o realizado foi de 18,4 metros.

Figura 23: Representação gráfica do scanearamento topográfico da abertura do *slot raise*, linha rosa representa a abertura planejada e linha azul representa o que foi realizado



Fonte: AngloGold Ashanti (2016)

Temos então que, mesmo tomando várias decisões como estudo do maciço rochoso e definição do plano de perfuração a partir deste, foram apresentados desvios de furos, podendo ter como causa dos desvios erro operacional ou encontro de falhas durante a perfuração, porém foi constatado que o conhecimento dos desvios dos furos para realização do sequenciamento de carga é imprescindível para o sucesso da abertura da face livre.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A empresa busca cada vez mais uma melhor qualidade de produção e sempre comprometida com bons resultados, uma vez que o não sucesso da abertura de *slot's raise* afeta na produtividade e custo operacional.

Não foi possível definir uma única causa para o baixo rendimento da abertura de *slot's raise*, desse modo, todos os fatores avaliados poderiam interferir e gerar tal resultado.

A aplicação de planos de perfuração relacionados ao RMR e Fator Q permitiu maior controle do fator de empolamento da rocha, onde a partir de então a massa teria espaço de escoamento não agarrando então o fogo de detonação e desmontando a massa planejada.

Constatou-se, na prática, que os furos com mais desvios são aqueles realizados em maciços com baixos valores no sistema Q e RMR. A presença de fraturas e falhas dificulta a perfuração, alterando os parâmetros ideais de perfuração (fato que ressalta a importância da experiência do operador), exige mais do equipamento e aumenta a ocorrência de travamento de hastes. Todas essas dificuldades prejudicam a perfuração para a abertura de face livre, bem como aumentam a probabilidade de perda de face livre.

É fato que se obter uma perfuração livre de desvio é impossível, afinal, muitos são os fatores que influenciam na perfuração, dentro do aspecto geológico, por exemplo, não existe possibilidade de aplicar uma medida que irá tornar uma área de qualidade ruim em boa. Entretanto, obter conhecimento dos desvios dos furos permitiu planejar a quantidade de carga aplicada e a sequência de detonação, facilitando obter um melhor resultado final, mesmo quando se tem qualidade ruim de perfuração e existência de desvios de furos.

A operação de abertura de *slots raise* para a obtenção de face livre é uma atividade de alto risco econômico e representa um desafio em minas subterrâneas, tanto do ponto de vista tecnológico quanto da segurança. Por isso, tamanha a importância do estudo e conhecimento para adequar o método *Sublevel Stopping* às situações específicas da mineralização. Maiores dados e conhecimento sobre o maciço rochoso e seu comportamento torna possível a otimização dos processos e redução dos custos de produção.

Por fim, ainda que a rocha apresente qualidade ruim, a aplicação do melhor plano de perfuração se tornou essencial. No quadro da perfuração, a minimização dos desvios faz-se necessária, mas na presença desses, a utilização do reflex obtendo conhecimento dos desvios e planejando um carregamento bem dimensionado permitiu se obter a partir de então sucesso nas aberturas de *slot's raise*.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, Fernando Flecha de; MARSHAK, Stephen. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Cráton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, 30 jun. 1998

ANGLOGOLD ASHANTI. Relatório Lavra Experimental da Mina Córrego do Sítio, 2009.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. A) Aparelho Reflex Leica modelo C10. B) Galeria scaneada C) Visão interna da galeria scaneada. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Ciclo do desenvolvimento. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Corte na altura de 16 metros dos furos, furos realizados X furos planejados. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Corte na altura de 9 metros dos furos, furos realizados X furos planejados. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Corte no emboque dos furos, furos realizados X furos planejados. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Desvios da perfuração ao longo dos furos. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Equipamento carregadeira realizando limpeza. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Fandrilh do tipo simba perfurando lavra ascendente. Santa Barbara, 2013.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Frente de lavra com realce aberto e furos dos leques descendentes. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Furo 7 representado pela cor roxa e furo 12 representado pela cor rosa. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Lavra do corpo Laranjeiras níveis 648/668/688 300S, a área de cor cinza compreende um grande realce aberto em três níveis. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Novo layout da mina Córrego do Sítio I. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Operações de Produção. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Parâmetros adequados para perfuração em CDSI. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Parâmetros de qualidade do maciço rochoso. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Parâmetros específicos do corpo 628. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. PDF3D do slot CB512, furos realizados X furos planejados. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Plano de perfuração de frentes de desenvolvimento. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Plano de perfuração de slot. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Plano de perfuração definido para o slot raise da CV628/648 330S. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Plano de perfuração. A: Plano de perfuração para maciço rochoso de qualidade muito ruim a razoável. B: Plano de perfuração para maciço rochoso de qualidade boa a extremamente boa. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Relação: massa X furo carregado/alargado X fator de empolamento. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Representação gráfica do scanearamento topográfico da abertura do slot raise, linha rosa representa a abertura planejada e linha azul representa o que foi realizado. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Representação gráfica referente ao furo 17, onde a cor azul representa o furo planejado e a cor bege representa o furo realizado. Santa Barbara, 2016.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Scanearamento do desmonte; as linhas rosas representam a área planejada para desmonte e as linhas azuis representam o que foi desmontado. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Scanearamento topográfico juntamente com projeto de slot e leque em Datamine. Santa Barbara, 2015.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Teste de compressão de amostras da Mina Córrego do Sítio. 2013. 56 f. Qualificação do maciço (Resistência de rochas), Santa Barbara, 2013.

ANGLOGOLD ASHANTI, Arquivo Interno. Vista de desenvolvimento do nível CB711. Santa Barbara, 2013.

ATLAS COPCO. Equipamento jumbo. Disponível em: <<http://www.atlascopco.com.br/brbr/products/carretas-de-perfura%C3%A7%C3%A3o-e-perfuratrizes/1401284/1520766/>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

ÁVILA, Cássio Ricardo de. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MACIÇOS ROCHOSOS E/OU DESCONTINUIDADES UTILIZANDO CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS – UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO. 2012. 233 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)- Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2878>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

AZEVEDO, Úrsula Ruchkys; MACHADO, Maria Márcia Magela; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; RENGGER, Friedrich Ewald; TREVISOL, Andréa; BEATO, Décio Antônio Chaves Beato. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG; Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP; Serviço Geológico do Brasil Décio Antônio Chaves Beato – CPRM. GEOPARQUE QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG). 2010. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/quadrilatero.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

CAE, Datamine Brasil Ltda. GE902 – Softwares de Mineração. [S.l.: s.n.], 2011. 1 p. Disponível em: <<https://ge902software.wordpress.com/Datamine/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

CALCUTA, Madre Tereza de. Epígrafe. Disponível em: <<http://pensador.uol.com.br/frase/MTIxOQ/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

COLLIS, J. e HUSSEY, R. Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós graduação. 2ªed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

DAVID, Marta Edith Velásquez. Composição isotópica de Pb-Sr e Nd da mineralização de ouro do depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG): implicações na modelagem conceitual. 2006. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-19042007-142433/>>. Acesso em: 2016-04-25.

FRANÇA, J.L. Manual para normalização de publicações técnico-científicas. 8. ed. rev. - Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2009. 257 p

GAMA, Carlos Diniz. MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA Características e Desafios. V CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA IBRAM e Dep. Engª. Minas – Esc. Engª da UFMG BELO HORIZONTE (MG) - 25 SETEMBRO 2008. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00001764.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

HARTMAN, H.L.; MUTMANSKY, J.M. 2002. Introductory mining engineering, John Wiley & sons, Londres, pag-570

InfoMine-Mining Technology illustrations. Perfuração radial do método sublevel stoping. Disponível em: <https://www.pinterest.com/pin/358810295282513345/?from_navigate=true>. Acesso em: 11 maio 2016.

LIMA, José Geraldo de. Referência para a decisão entre a lavra a céu aberto e a lavra subterrânea. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/3657299/apostila/1>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

LIMA, Luiz Claudio et al. Minerais de antimônio no depósito aurífero córrego do sítio e sua importância para a descoberta de novas mineralizações na porção leste do quadrilátero ferrífero. Disponível em: <<http://www.adimb.com.br/simexmin2008/palestras/posters/11.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

LOPES, Manoel da Conceição; Comportamento geotécnico de rochas brandas na mina Córrego do Sítio. Universidade Federal de Ouro preto- UFOP . Ouro Preto .2006.

LOPES, Manoel da Conceição; LANA, Milene Sabino; RIBEIRO, Luis Fernando Martins; SILVA, Carolina Helena Caldeira. Comportamento geotécnico de rochas brandas na mina Córrego do Sítio, Santa Bárbara (MG) - (Geotechnical behavior of weak rocks in Córrego do Sítio mine, Santa Bárbara (MG)). REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(3): 471-476, jul. set. 2007.

Maciço rochoso. Caracterização de maciços rochosos. Disponível em: <http://olhares.sapo.pt/macico_rochoso_da_serra_da_estrela_foto805855.html>. Acesso em: 29 abr. 2016.

MELO, Manolo Morales. Caracterização e compartimentação geológica e geomecânica de maciço basáltico heterogêneo, aplicados a engenharia. 2010.183 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-06052010-134405/en.php>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

NOGOSEKE, Elaine. Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de pch's usando sistema RMR: Aplicação no projeto básico da PCH morro grande- RS. 2009. 125f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-23032010-103222/pt-br.php>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

OKUBO, YAMATOMI; 201?. Civil Engineering - Vol. II - Underground Mining Methods and Equipment. Disponível em: <<http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-37-06-02.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

OLIVEIRA, Michel Melo. Dimensionamento empírico de realce em sublevel stoping. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/1741M.PDF>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

PORTO, C. G. 2008. A mineralização aurífera no corpo Cachorro Bravo e sua relação com os diques metamáficos. Lineamento Córrego do Sítio – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, Brasil .IGC – UFMG. Dissertação de Mestrado, 109 p.

RIBEIRO, Camila; MUNIZ, Willer Alexander. INFLUÊNCIA DA PERFURAÇÃO NA ABERTURA DE SLOTS NO MÉTODO SUBLEVEL STOPING NA MINA CÓRREGO DO SÍTIO I. 2015. 96 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, 2015.

ROCHA, Antônio Carlos Pereira. Aplicações do Scanner a Laser I-SiTE para levantamentos topográficos. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000400013>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ROESER, Hubert Matthias; ROESER, Patricia Angelika. O quadrilátero ferrífero - mg, brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas Ambientais relacionados. 2010. Geonomos 18(1): 33 – 37.

ROSIÈRE, Carlos A.; CHEMALE JR, Farid. ITABIRITOS E MINÉRIOS DE FERRO DE ALTO TEOR DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – UMA VISÃO GERAL E DISCUSSÃO. Revista Geonomos, [S.l.], dez. 2000. ISSN 24466964. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/155>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

SERRA JUNIOR, Edgard; OJIMA, Luiz Massayosi. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de. Geologia de Engenharia. Primeira. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998. cap. 13, p. 220-224.

VIEIRA, Fernando; BARBOSA, Karina; FERREIRA, Eric Duarte. 2015. Avaliação geotécnica das variantes do método sublevel stoping para o projeto sulfetado da mina córrego do sítio.