

Estudo de Melhoria de Cabeamento Aplicada a Realces de Sublevel Open Stope

Marcelo P. Campos

Mineração AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil, mpcampos@anglogoldashanti.com.br

Gustavo A. P. Bastista

Mineração AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil, gapbastista@anglogoldashanti.com.br

RESUMO: A Mineração Serra Grande do grupo AngloGold Ashanti possui 3 minas subterrâneas e duas minas à céu aberto em atividades. Sabendo que reforços de maciço rochosos são extremamente importantes para a estabilidade de escavações subterrâneas, esse trabalho foi motivado pelos resultados alcançados devido a busca de melhoria no processo de cabeamento nos últimos três anos através de monitoramento, treinamento e adoção de novo arranjo. Uma vez entendido que a ineficiência do sistema cabeamento é associada, entre outros fatores, pela perda de aderência causada pela descompressão do maciço rochoso durante a abertura de grandes escavações e também pela qualidade da calda de cimento, foi buscado a utilização de arranjo de cabeamento modificado pela inserção de porcas dentro da trama do cabo de aço, permitindo dessa forma minimizar os efeitos da perda de tensão no teto dos realces. Outra melhoria almejada foi a melhoria da qualidade da calda de cimento, uma vez que testes da relação A:C mostraram relações muito acima dos limites aceitáveis; dessa forma foi realizado um treinamento com o foco na equipe operacional para conscientizar sobre a importância do reforço cabeamento na estabilidade de grandes aberturas através de apresentações de padrões mundialmente aceitos, resultados de testes de arrancamento e consequentemente o impacto no controle da diluição.

PALAVRAS-CHAVE: Sublevel Open Stope, Cabeamento, Calda de Cimento, Aderência, Teste Arrancamento, Diluição.

1 INTRODUÇÃO

Em escavações de realces do tipo *Sublevel Open stope* (SLOS) a importância do reforço do maciço através de cabeamento é de extrema importância, uma vez que essas escavações dificilmente serão totalmente preenchidas pelo estéril proveniente de frentes de desenvolvimento, uma vez que os vazios gerados pela lavra são maiores que o svolume de estéreis gerados no desenvolvimento primário. Nesse trabalho são apresentados resultados de testes de arrancamentos de cabos planos e modificados realizados em diversas escavações subterrâneas, onde é notória a melhoria da capacidade de aderência do sistema

cabeamento devido a melhoria de aderência entre o cabo e o graute (calda de cimento).

Sabendo que o sistema cabeamento possui grande influência na estabilidade de escavações, podemos relacionar três vantagens da melhoria nesse sistema; a primeira diz respeito a segurança de pessoas e equipamentos, uma vez que diminui a possibilidade de deslocamentos antes, durante e após a lavra; a segunda melhoria diz respeito a recuperação de minério, considerando que grandes deslocamentos se ocorridos durante a detonação e limpeza de minério podem inviabilizar a continuidade da limpeza; a terceira e não menos importante diz respeito a diminuição da diluição, uma vez que os deslocamentos ocorridos durante a lavra se

não causarem um risco de perda material (equipamento) ou perda de reserva, podem diminuir o teor da região lavrada devido ao acréscimo de estéril devido a deslocamentos. Dessa forma será apresentado um gráfico comparativo entre a capacidade do sistema cabeamento e da diluição operacional.

Outro fator importante na eficiência do sistema cabeamento é a qualidade da groute, dessa forma será apresentado dados da relação água versus cimento (CP-V) e sua relação com a capacidade de aderência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada nesse capítulo tem como principal fonte o livro Cablebolting in Underground Mines (Diederichs, 1996), o qual trata de diversos aspectos referentes ao sistema de cabeamento.

2.1 Porque Utilizar o Cabeamento?

Segundo Diederichs (1996) os cabos são utilizados em minas subterrâneas de rochas duras para proporcionar um ambiente de trabalho seguro; aumentar a estabilidade do maciço, e controlar ou diminuir a diluição do estéril durante a lavra.

Se partirmos do pressuposto que o controle da diluição pode ter uma influência grande e direta sobre o custo de um realce, a melhoria do sistema cabeamento poderá representar uma melhoria também no custo de lavra como um todo.

2.2 Deslizamento, Dilatação, Atrito e Resistência Adesiva

Com o relaxamento do maciço, pode a remoção da adesão interface, causando o deslizamento do cabo em relação ao anel de grout. Se a rotação do cabo durante a tração for evitada, ocorrerá uma disparidade geométrica entre as estrias do cabo e as respectivas saliências do grout.

A medida que as saliências do grout precisarem percorrer os arames do cabo, o grout se comprimirá no furo confiado e, com isso, gerará

uma pressão normal na interface entre grout/cabo, essa pressão resulta uma resistência ao deslizamento (Figura 1).

Na realidade, as pressões de dilatação se desenvolvem até o ponto em que as saliências do grout são esmagadas (Diederichs et al., 1993).

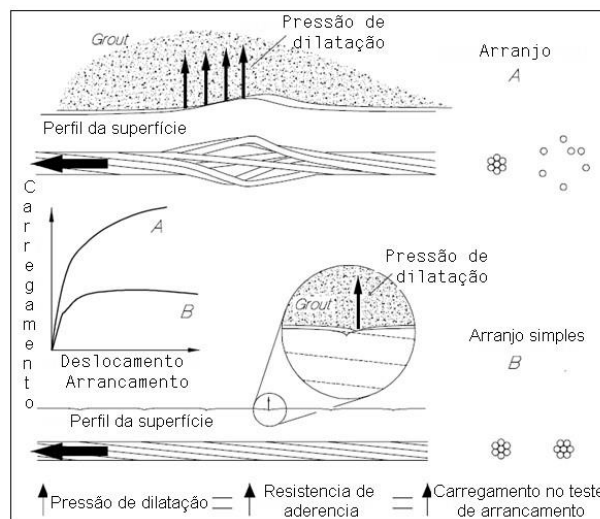


Figura 1. Mecanismo de aderência de cabos – modificado de Diederichs et al., 1996.

2.3 Comparação entre cabos de arranjo planos e modificado

Segundo Diederichs et al., (1996) as características principais dos cabos planos e modificados, pode ser resumida na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Características principais entre cabos de arranjo planos e modificado.

	Cabo Planos		Cabo Modificado	
	Cabo único	Cabo duplo	Cabo único	Cabo duplo
Relação A/C	0,38		0,4	
Φ min. furo (mm)	48	64	48	51
Capacidade de deslocamento	Ruptura ocorre em 20mm.		Ruptura ocorre entre 25@50 mm.	
Capacidade da carga	Arrancamento 20@35 t/m; escoamento 20 t/cabo		Arrancamento 100-200% > cabo plano;	
Sensibilidade	Altamente sensível MR <10 GPa; Sensível à alteração de tensão; Condição superfície trança crítica.		Sensível MR < 10 GPa; Sensível ao tamanho da porca (max 16 mm).	
Vantagens	Barato e fácil de instalar; Pode ser embalado em carretel contínuo.		Flexibilidade razoável; tamanho do furo menor;	
Desvantagens	Sensibilidade extrema; Resistência adesiva + baixa		Não pode ser fabricado em carretéis contínuos;	

3 METODOLOGIA

Atualmente na Mineração Serra Grande (MSG) são realizados cerca de 600 testes de arrancamento anualmente em tirantes, cavilhas e cabos, sendo cerca de 130 testes realizados em cabos. O teste consiste em aplicar uma força de tração nos cabos através de cilindro hidráulico até que haja o deslizamento ou rompimento do cabo. Apensar do teste de arrancamento já ter sido realizado em cabos de 7, 2, 1 e 0,5 m, serão apresentados somente os resultados de testes realizados em cabos de 0,5, 1,0 e 2,0 m normalizados para cabos de 0,5 m.

A relação de água/cimento (A:C) é verificada através da coleta de amostras de groute fresco em cilindros de pvc com volume conhecido, uma vez coletada a mostra é pesada e sua relação A:C é definida com base na expressão proposta por Hyett (1992).

$$A:C = 0,757 \times \ln(\rho_g - 1,0) - 0,333 \quad (1)$$

Onde ρ_g é a densidade do groute fresco.

Para validação da Expressão 1 acima, foi realizado em laboratório ensaios onde cada groute foi preparado com uma determinada relação A:C e sua massa foi medida para se estimar a ρ_g e obter o resultado da relação A:C pela Expressão 1. Através da Figura 2 abaixo, é validada a expressão para a groute da MSG.

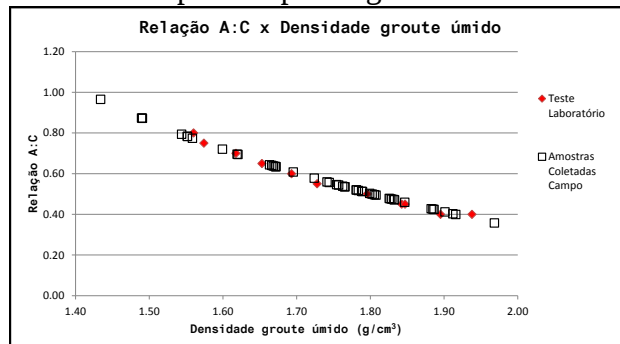


Figura 2: Relação A:C versus Densidade groute úmido.

4 RESULTADOS

4.1 Testes de Arrancamento

Foram realizados um total de 316 testes, sendo 182 realizados em cabos planos, sendo assim os testes de arrancamento foram realizados em sua maioria em cabos perpendiculares a superfície da escavação para minimizar o efeito de cisalhamento durante dos testes. Foi utilizado um conjunto de cilindro e bomba da Enerpac de alumínio com capacidade de 30 t. O cabos foram instalados principalmente em grafita xistos (encaixante do minério) com cerca 10 a 20% de quartzo, módulo E de 40 Gpa e UCS de 100 Mpa; e em metagrauvacas (hospedeira do minério) com cerca de 40% de quartzo, E de 45 Mpa e UCS de 125 MPa.

Devido ao fato dos testes em cabos planos maiores que 2 m e em cabos modificados maiores que 50 cm resultarem no rompimento do cabo e não no deslizamento do mesmo, todos os testes foram realizados em cabos de 0,5 m para modificados e 0,5, 1,0 e 2,0 m para cabos planos. Para efeito de comparação os cabos de 1,0 e 2,0 m foram normalizados para 50 cm.

Na figura 3 abaixo é possível identificar a melhoria dos resultados no decorrer de 2012 até 2016, devido principalmente a três fatores:

- utilização de um novo arranjo de cabos (*nut*

cage);

- divulgação do monitoramento da relação A:C da groute para a operação (dez/14);
- treinamento dos auxiliares e supervisores de operação envolvidos no cabeamento (dez/15).

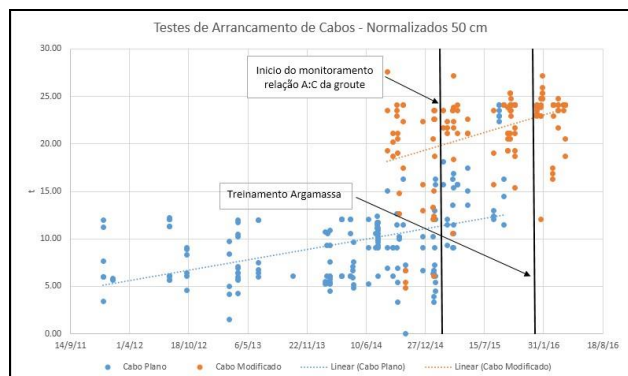


Figura 3: Resultados de testes de arrancamento de cabos.

Através da Figura 3 é notória a melhoria da aderência dos cabos desde 2012, o que foi extremamente importante para permitir a extração do minério de forma sustentável.

A melhoria mais significativa foi a adoção de um arranjo modificado no cabeamento, permitindo um incremento de 70% na aderência, contudo a melhoria na qualidade da groute também foi muito importante para o processo de fortalecimento do maciço, visto que incrementou em cerca de 60% a aderência de cabos de arranjo plano e uma melhoria significativa na aderência do arranjo modificado.

4.2 Melhoria Relação A:C

Como citado no item anterior a melhoria na qualidade da groute, especificamente na relação A:C contribui fortemente na eficiência do sistema cabeamento como um todo.

Desde agosto de 2014 foram realizados 83 ensaios de densidade de groutes a fim de determinar a relação A:C dos mesmos.

No final de 2014 foi divulgado à operação os resultados de A:C dos ensaios realizados sem intervenções ou treinamentos (*background*); no início de 2016 as equipes envolvidas no processo de cabeamento foram capacitadas através de um treinamento focado no potencial de melhoria do processo como um todo.

Na Figura 4 abaixo é evidente a melhoria do

processo em função das intervenções da equipe de mecânica das rochas e principalmente do foco operacional na realização dessa melhoria.

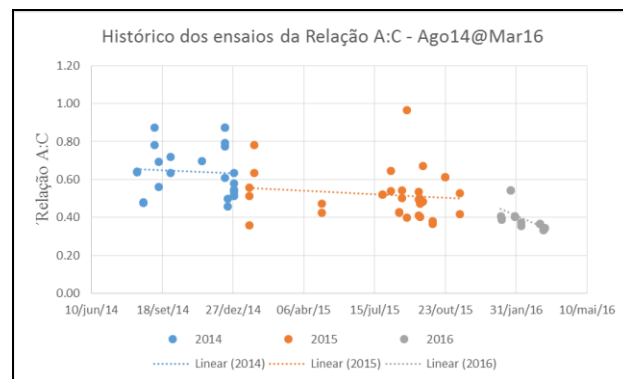


Figura 4: Resultados regressivo da relação A:C na MSG.

Baseado no gráfico acima, é evidente que a melhoria ocorreu devido ao monitoramento e principalmente devido a capacitação dos colaboradores envolvidos na operação, que contribuiu tanto nos valores de A:C como na dispersão desses valores.

4.3 Relação A:C x Diluição

Como é sabido que o cabeamento se comporta como um reforço do maciço rochoso, e que a diluição está relacionada com a dimensão das escavações, a qualidade do maciço e o *layout* das escavações; podemos assim supor que a melhoria no sistema cabeamento deve resultar numa melhoria (diminuição) da diluição. Segue abaixo a Figura 5 que exemplifica essa relação baseado em um levantamento de dados do período de implantação de algumas melhorias do sistema de cabeamento.

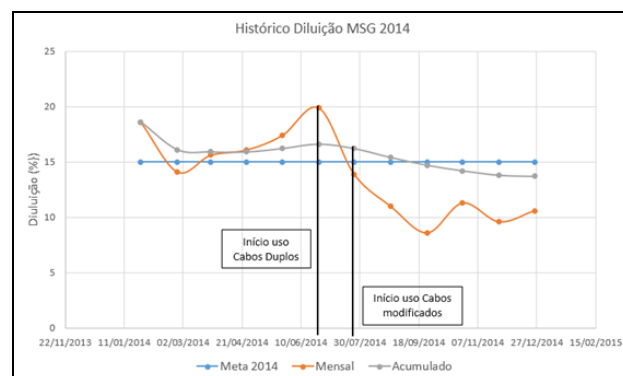


Figura 5: Resultado Diluição na MSG em 2014.

Devido aos resultados alcançados em 2014, ficou mais claro a relação de dependência entre

qualidade do sistema cabeamento e a diluição. Apesar disso baixos resultados de diluição só podem ser alcançados se além do reforço do maciço a operação conseguir executar as escavações com qualidade, pois se alguns furos forem desviados em direção ao teto dos realces, o cabeamento de pouco adiantará. Outro aspecto muito importante diz respeito ao layout das escavações, e nessa questão o geotécnico tem papel crucial em validar os blocos de lavra desenhados pelo planejamento e que serão executados pela lavra.

5 DISCUSSÕES

Em realces de *sublevel open stope* é imprescindível manter as escavações estáveis, visto que uma instabilidade instaurada no primeiro nível de um painel, pode comprometer a estabilidade da lavra dos interníveis seguintes (descendentes).

O cabeamento deve ser visto não somente como um reforço de um maciço, mas também como uma importante ferramenta no atingimento de metas de produção, como volume extraído, recuperação, diluição, sustentabilidade das operações e segurança de pessoas. Um bloco de estéril caído sobre o minério pode esterilizar esse minério, pode causar um dano ao equipamento, ou pode aumentar a diluição. Um deslocamento no interior de um realce pode comprometer um acesso principal e causar atraso de produção e em maior até o fechamento de uma mina.

Existem inúmeros exemplos dos benefícios de se executar um suporte de forma eficaz, contudo só é possível alcançar esse objetivo ao lado da operação. Juntos com pontos de vista diferentes, mas com o mesmo objetivo final, produzir de forma previsível, segura e sustentável.

6 RECOMENDAÇÕES

Promover capacitação do corpo técnico e operacional em ciclos de forma que não haja perda do conhecimento.

Definir indicadores de qualidade ao time operacional, ao invés de indicadores produtivos

somente. O operador ou auxiliar não irá executar um trabalho com qualidade se não for cobrado pelo seu supervisor.

Promover a busca de melhoria contínua. É comum as melhores ideias surgirem de quem executa a atividade. Saber escutar a operação e filtrar as oportunidades é o papel de um bom supervisor e ou geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Mineração Serra Grande por permitir a publicação dos dados contidos nesse artigo em especial ao gerente de geologia e exploração Diogo Costa, gerente geral Ricardo de Assis; ao gerente Rodrigo Fideles pelo apoio na implantação das melhorias, ao supervisor de mecânica das rochas Gerson Rincon e sua equipe pela realização dos ensaios, ao geotécnico Gustavo Batista pela realização da capacitação do time operacional, e ao Chefe do Planejamento Alexandre Andrade pela revisão final do artigo.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, E.S., 2008 Avaliação do suporte com cabos de aço na Mina Cuiaba (Sabara / MG), dissertação de mestrado em engenharia geotécnica da UFOP.
- Cota, R.F., 2010. Monitoramento do hangingwall com televisionamento de furos e utilização de extensômetros na mina Cuiaba. XV Congresso Brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica; V simposio Brasileiro de mecânica das rochas. Cobramseg, Gramado.
- Hoek, E.; Kaiser, P.K.; Bawden, W.F. (1995) *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1995, 215p.
- HUTCHINSON, D.J.; DIEDERICH, M.S. Cablebolting in Underground Mines. Richmond: Bitech Publishers Ltd, 1996
- Rocscience Inc. ROCLAB Software for calculation Hoek-Brown rock mass strength. Toronto, Ontario, 2002.
- Sheorey, O.R., Biswas, A.K. & Choubey, V.D. An empirical criterion for rocks and jointed rock masses. Engineering Geology, 1989, v.26, p.141-159.