

Aplicações e Melhorias no Cabeamento dos Realces da Mina Cuiabá

Reuber Ferreira Cota

AngloGold Ashanti, Sabará, Brasil, rfcota@anglogoldashanti.com.br

Felipe de Brito Pereira

AngloGold Ashanti, Sabará, Brasil, fbpereira@anglogoldashanti.com.br

Diogo Braga Brandani

AngloGold Ashanti, Sabará, Brasil, dbbrandani@anglogoldashanti.com.br

RESUMO: A Mina Cuiabá de propriedade da AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração é hoje uma das mais importantes minas subterrâneas do Brasil. Dentre os métodos de lavra aplica-se *sublevel stoping*, corte e aterro e variantes. Como suporte da capa (*hangingwall*) em lavra de corte e aterro ou ao longo dos subníveis de *sublevel*, utiliza-se cabos de aço com 9,60m de comprimento numa malha previamente definida. O suporte com utilização de cabos de aço é classificado como dispositivos ancorados por atrito e continuamente acoplados, ou seja, a aderência entre cabo e maciço rochoso é contínua através do uso de mistura ligante cuja qualidade da atuação na resistência de aderência depende em grande parte da sua composição, forma de instalação e tempo de cura. Desde 2008, sucessivos acompanhamentos, estudos e testes têm sido conduzidos neste tema para o desenvolvimento do sistema de suporte no âmbito de qualidade e eficácia de acordo com as condições presentes na mina. Cronologicamente, houve intervenções na composição da mistura ligante cabo-rocha, tipo de cabo utilizado, alteração na metodologia de injeção em algumas situações e novos trabalhos seguem em progresso para avaliação de aditivos na mistura e melhorias nos indicadores de preenchimento do furo.

PALAVRAS-CHAVE: Cabos de Aço, Resistência de Aderência, Mistura Ligante, Tixotrópica.

1 INTRODUÇÃO

A Mina Cuiabá está localizada no setor NW do Quadrilátero Ferrífero, a 5,5 km do centro da cidade de Sabará, nas margens da rodovia MG-050 que liga essa à cidade de Caeté, Figura 1.

Como método de lavra vem se aplicando as metodologias de corte e aterro e *sublevel stoping* com suas variantes da qual o último representa o mais expressivo dentre os métodos.

O suporte da capa (*hangingwall*) nos realces de corte e aterro e/ou dos subníveis da metodologia de *sublevel*, utiliza-se cabos de aço com 9,60m de comprimento numa malha regular de 1,5x1,5m para o primeiro e cabos com malha a

se definir de acordo com cada situação específica para o segundo.

Mensalmente, nas escavações para produção de minério, são aplicados em média 16000 m de cabos de aço com trama de sete fios correspondendo a cordoalhas com diâmetro de 5/8" (15,9mm). Estes, atualmente, são fixados com uma mistura ligante composto de cimento e água e são instalados manualmente em furos, com diâmetro de 63,5mm.

A qualidade do sistema de suporte, sendo qual for se faz de grande importância para que se garanta sua eficácia. Caso contrário, a interação rocha-suporte não ocorrerá da maneira na qual

se faz necessária para controlar deformação, reter e suportar blocos do maciço rochoso.

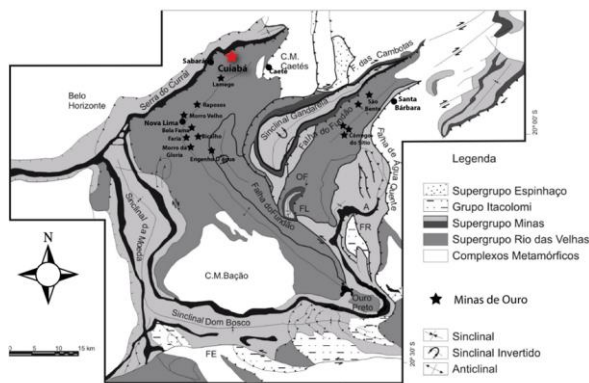


Figura 1: Localização da Mina Cuibá.

Diante da necessidade de conhecer a qualidade final do suporte instalado, testes de qualidade para determinação da resistência a aderência são realizados com maior frequência desde 2008.

2 TRABALHOS REALIZADOS

Com o aumento da taxa de produção da mina em 2008, foi necessário reduzir o tempo necessário para se liberar um realce cabeado. Desde então, o tempo mínimo para liberação foi padronizado para 24 hrs. Desta maneira, surgiu a necessidade de verificação da resistência de aderência entre o cabo e a mistura ligante (*bond strenght*), iniciando assim os testes de tração para cabos com 1, 2 e 3 metros de comprimento após este intervalo mínimo de tempo gerando os valores de aderência com estes comprimentos efetivos.

Em anos anteriores, também haviam sido realizados testes de arrancamento, mas, em sua maioria, o intervalo de tempo esperado para o teste estava acima do limite de tolerância cujo prazo de cura é de 24 horas.

Os resultados da resistência de aderência são totalmente relacionados com a composição da mistura ligante, metodologia de injeção e tempo de cura.

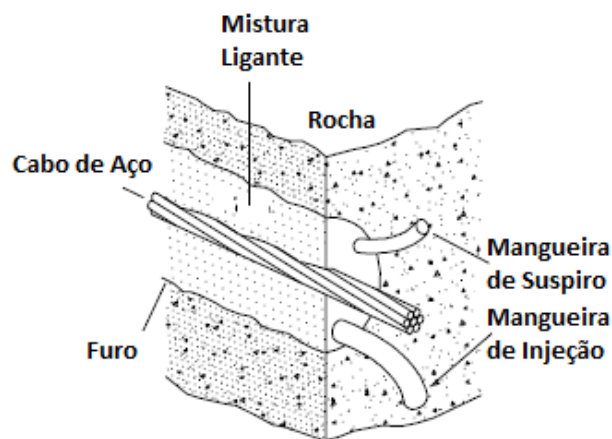


Figura 2: Elementos do cabeamento de metodologia de injeção ascendente (Adaptado de Hutchinson and Diederichs, 1996).

Em 2008, a recomendação para a operação era utilizar a composição descrita na fórmula apresentada na tabela 1 para cabos de aço com trama simples.

Tabela 1: Traço da Argamassa em 2008.

1 – SACO DE CIMENTO ARI PLUS DE 40Kg
2 – 20 LITROS DE AREIA LAVADA E PENEIRADA (PENEIRA DE ARROZ)
3 – QUANTIDADE DE ÁGUA NÃO DEFINIDA (APROXIMADAMENTE 20L)
4 – 1L DE INTRAPLAST (N)
5 – 100ML CARBOXIMETHILCELULOSE – C.M.C

Após diversos testes de arrancamento nos anos de 2009 e 2010 para se determinar a resistência de aderência, percebeu-se que os valores estavam abaixo do teórico esperado (*critical bond strenght*) e pelos valores utilizados em modelos internos na AngloGold Ashanti. Para os cabos de aço de 1 metro obtiveram-se valores variando entre 5 a 13 toneladas, enquanto que os valores esperados deveriam estar entre 15 a 20 t. Para os cabos de 2 e 3 metros, esperasse atingir a carga máxima axial do cabo de aço, 25 toneladas, entretanto resultados com valores inferiores foram detectados, como pode ser visto na Figura 3.

A partir destes resultados foi identificada uma deficiência na qualidade da mistura ligante do cabeamento da mina. Logo, foi iniciada, uma verificação dos procedimentos operacionais realizados para essa atividade, descrevendo e

identificando os passos que estariam influenciando nos resultados insatisfatórios da resistência cabo/mistura ligante.

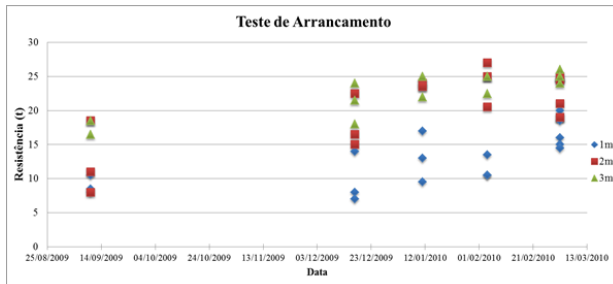


Figura 3: Testes de arranque para resistência de aderência entre 2009 e 2010.

Desta forma, novos testes foram conduzidos com o propósito de realizar um controle volumétrico da água utilizada no processo mantendo a formulação proposta na tabela 1. Os resultados obtidos para volumes específicos seguem ilustrados pela figura a seguir. Quando se utilizou uma mistura com volume de 20 L de água, frequentes problemas com os estatores da bomba de injeção foram registrados devido ao intenso atrito gerado pela areia fazendo com que se elevasse o valor recomendado para 22 litros.

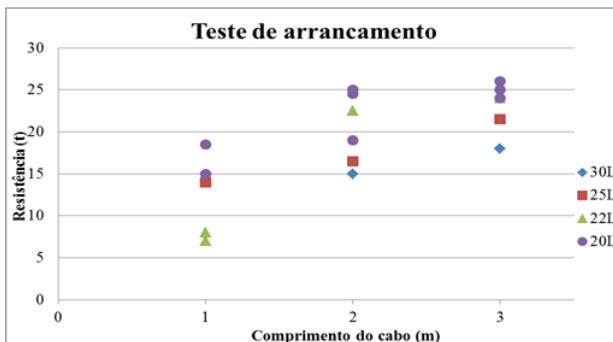


Figura 4: Resultados de resistência de aderência para cabos com 1, 2 e 3 metros de comprimento com variação na quantidade de água.

Mediante a realização de pesquisas bibliográficas, verificou-se que os trabalhos históricos realizados nas minerações do mundo são praticamente baseados em uma mistura ligante composta exclusivamente por água e cimento. Nesse sistema, a principal condicionante da resistência de aderência entre a mistura e o cabo é representada pela relação água/cimento (W/C), assim como mostrado pela Figura 5.

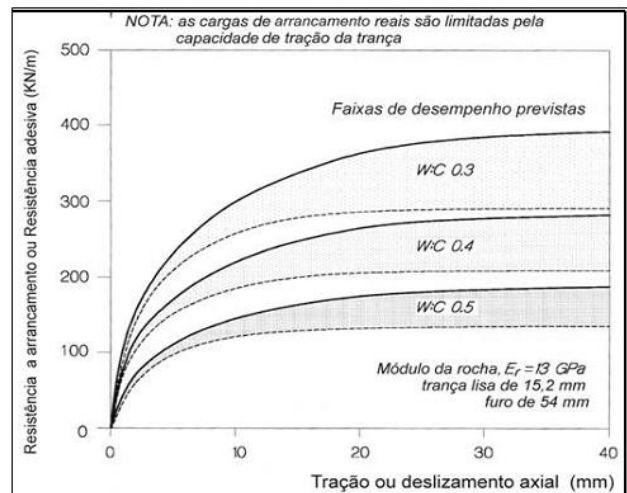


Figura 5: Gráfico da relação entre a resistência de aderência (argamassa e cabo) e a relação água/cimento da grout. (Modificado de Hutchinson and Diederichs, 1996).

Com o intuito de propor a mudança no traço da argamassa do cabeamento e de determinar a quantidade máxima ideal de água que poderia ser utilizada, realizaram-se novos testes de arranque na mina sem areia e com quantidades variadas de água.

Em todos os testes utilizou-se no traço apenas cimento CPV ARI e água (sem aditivos ou areia). Os testes foram iniciados com relação de água/cimento de 0,45, que é a recomendação máxima encontrada na literatura, Hutchinson and Diederichs, (1996). Para 40 Kg de cimento, foram utilizados 18L de água e, posteriormente, foram testados traços com 17 e 16L. A argamassa com 16L apresentou problemas durante o processo de bombeamento em virtude da potência motriz da bomba (3cv), chegando a obstruir as mangueiras de injeção. As misturas com 17 e 18 L de água não apresentaram problemas operacionais.

Os resultados dos testes com argamassa cujo traço considerava apenas água e cimento foram satisfatórios, conforme visto na Figura 6. Os valores baixos para resistência de aderência se devem ao baixo ângulo de instalação dos cabos injetados que não permitiu a saída de água remanescente e consequentemente, gerou uma argamassa com menor viscosidade e resistência. Os testes realizados com água e cimento com 18 e 17L de água, com uma relação água/cimento de 0,45 e 0,425 respectivamente, foram bastante

satisfatórios, sendo que o último chegou a alcançar valores de 21 e 24t para 1m de comprimento de cabo.

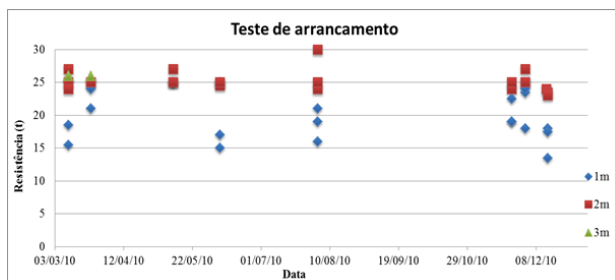


Figura 6: Resumo dos testes realizados com traço da mistura modificado para apenas água e cimento e tempo de cura de 24hrs após a injeção.

Apos estes testes, ficou tecnicamente comprovado que a alteração do traço para água e cimento em uma relação máxima de 0,45 proporciona um ganho de eficiência do sistema de suporte quando comparado com o traço da tabela 1. A figura abaixo ilustra um teste visual de diferença de viscosidade entre o traço anterior e o traço com relação de 0,45 com o mesmo volume inicial.



Figura 8: (esquerda) Mistura ligante composta com relação água/cimento de 0,45, maior viscosidade. (direita) Mistura ligante do traço com areia e etc, menor viscosidade.

A figura a seguir, demonstra a diferença de textura entre as duas misturas ligantes, à esquerda a mistura referida na tabela 1 e a direita, b, o traço com relação W/C de 0,45. É perceptível a maior porosidade da foto (a) em comparação à foto (b)



Figura 7: Comparação da textura entre os diferentes traços. (a) Textura referida a tabela 1; (b) textura do traço modificado para W/C de 0,45.

Durante o período pós mudança, foi notório a evolução do comportamento do reforço, entretanto, após análise de novos eventos de desarticulações foi possível observar que cabos, em alguns casos, escorregavam ao longo da coluna de *grout*, ao invés, de arrebentar na carga máxima do sistema de reforço, 25 toneladas. Tal anomalia, catalisou estudos de novas oportunidades no processo.

Pela teoria da resistência de aderência, é sabido que as forças normais à parede do furo são de fundamental importância para a resistência final de aderência, logo redistribuições de tensões no maciço rochoso podem afetar positivamente ou negativamente a resistência final do sistema.

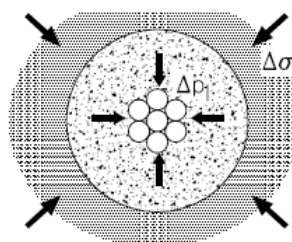


Figura 8: Influência do estado de tensão do maciço na resistência de aderência. (Adaptado de Hutchinson and Diederichs, 1996)

Foi possível em inspeções na Mina Cuiabá, constatar tal indício na qual o relaxamento da capa (*hanging wall*) provocou um aumento do diâmetro do furo e consequente escorregamento do cabo pela baixa resistência de aderência final do sistema (Figura 9). Estes indícios foram simulados na mina Cuiabá através de modelagem numérica 2D pelo software Phase2 da Rocscience e consultas a referência bibliográficas já consagradas como Kaiser, P. K., Yazich, S., Nosê, J. (1992).



Figura 9: Evidência de cabos escorregados na capa (Hanging Wall), destacando a abertura entre cabo e mistura ligante.

O desconfinamento (*destress*) da capa, foi também evidenciada nos últimos modelos numéricos 3D, contratados para a mina.

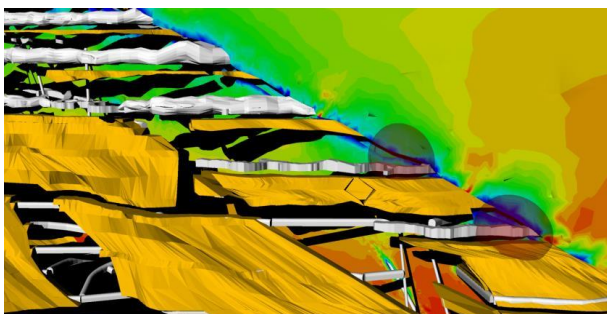


Figura 10: Visualização do Nível 15 do modelo numérico da Coffey pelo software Abacus, ressaltando o desconfinamento excessivo do HW pela coloração em azul. (Arndt et. al 2013)

Diante destas novas evidências, se iniciou um estudo de metodologias que garantisse que mesmo com condições de desconfinamento o sistema de suporte atenderia as cargas exigidas pelo maciço rochoso durante a lavra.

Novamente em consulta as referências bibliográficas, constatou-se que possíveis soluções para perda de aderência seria a utilização de cabos com a trança modificada como *Bird cadge* ou *nut cadge* ou a instalação de chapas e clavetes na extremidade dos cabos fazendo uma ligação entre a porção próxima ao colar, mais afetada pelo desconfinamento e o fundo do furo onde este efeito é muito menor.

Em adição a medida anterior a equipe de Mecânica das Rochas iniciou a instalação de cabos de aço com trança modificado do tipo Nut Cadge, Figura 11, após estudos de viabilidade

técnica-financeira. A distribuição das porcas se da a cada metro ao longo de toda extensão do cabo de aço.



Figura 11: Cabos de Aço e suas porcas espaçadas a cada metro ao longo do comprimento do mesmo.

Diante da mudança do tipo de cabo utilizado para *Nut Cadge*, novos testes de resistência de aderência foram realizados para verificação de sua eficácia. Estes testes foram realizados em cabos com 0,5 e 1 metro de comprimento da qual pode se constatar resistência de aderência aproximada de 30t/m. O Figura 12 demonstra a evolução dos resultados de resistência para ensaios realizados com cabos de 0,5m de comprimento e a relevância do controle de qualidade para que o desvio padrão das respostas seja o minimizado.

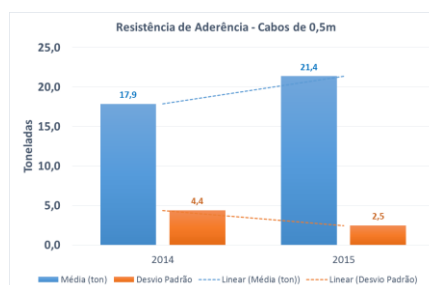


Figura 12: Evolução de resistência de aderência para cabos de 0,5metros de comprimento e seu respectivo desvio padrão.

Após a implantação desta, novos fatores negativos foram observados com relação ao preenchimento total do furo de contenção, assim novas análises foram iniciadas. Durante o processo de injeção de cabos pela metodologia da mangueira de suspiro, percebe-se que o furo está completamente preenchido quando o ar não retorna mais pela mangueira de suspiro, (diâmetro interno de 4mm e externo de 8mm), esta constatação é realizada com o auxilio de um recipiente com água observando as bolhas de ar após um intervalo de tempo conhecido

para injeção de cada cabo.

Quando não se observa o retorno adequado, constata-se que o cabo em injeção não terá comportamento efetivo e ocorre a marcação deste cabo para controle, como cabos sem retorno. Desta forma, realizaram-se testes utilizando tubos transparente com diâmetro interno de 63,5 mm para confirmação de uma serie de fatores que poderiam afetar o preenchimento total dos furos ocasionando sua ineficácia, principalmente a avaliação da influência de quebras no maciço rochoso que poderiam provocar perda de grout por trincas durante a injeção.

Pelo monitoramento de televisionamento de furos é perceptível quebras que podem provocar a fuga da grout, não preenchendo a coluna total do furo. Este fato, quando não detectado previamente provoca índices de cabos ineficazes que consequentemente reduzem o fator de segurança da região.

Com o intuito de se prevenir tal possibilidade, iniciou se no final de 2012 a realização de televisionamento prévio a instalação de cabos, para que se possa desta maneira mapear as regiões com possibilidade desta falha e utilizar uma metodologia diferente para injeção. Quando detectadas situações deste gênero, recomendasse que a instalação destes cabos seja efetuada pela metodologia em recuo (descendente), na qual se preenche a coluna do furo com argamassa e na sequência manualmente se instala os cabos.

Para confirmação de eficácia da metodologia descendente, realizou se o televisionamento de uma trinca conhecida para que na sequência uma injeção de *grout* descendente fosse realizada até a elevação da trinca, após a injeção realizou se a filmagem novamente para ser verificado se a massa haveria “escapado” ou não pela trinca. Este teste segue ilustrado pela figura 15.



Figura 14: Arranjo com tubos transparentes para realização de simulação para o processo de cabeamento.

Em virtude do grande esforço físico necessário para a atividade descrita no parágrafo anterior e consequente redução na taxa de produção, uma nova redução na relação água/cimento foi aplicada para aumentar a viscosidade da massa e dificultar que a massa escape pelas trincas durante a metodologia de injeção com mangueira de suspiro (*Grout* ascendente). A alteração no final de 2013 para 16 litros a cada 40 Kg de Cimento CPV ARI, relação de 0.4, somente foi possível graças ao aumento da força motriz das bombas de injeção para 5 cv.



Figura 13: Evidência de que na metodologia de injeção descendente, a grout não “escapa” pela trinca.

Como relatado em parágrafos anteriores, durante o cabeamento algumas anomalias podem ser registradas, fato que, reduz a eficácia do sistema de reforço pelo fato de que alguns cabos planejados não estarão devidamente instalados, seja pelo comprimento do furo a menor (comprimento inferior), escape da argamassa (furo sem retorno), cabo não injetado e marcação sem furo.

A tendência decrescente de cabos sem retorno, observada pelos gráficos abaixo, evidenciam o

resultado de uma soma de fatores como o exemplificado pelo Figura 16; pelo aumento da utilização do método de lavra por sub níveis na mina da qual passou de 0% em 2011 para 73% em 2015, que implica em etapas de aplicação de cabos sobre menor plastificação; pelo aumento da aplicação de concreto projetado na mina e outros.

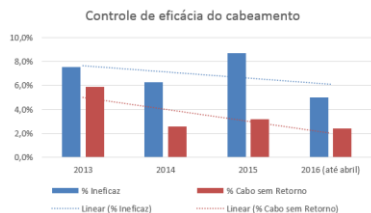


Figura16: Evolução da porcetagem de eficácia do sistema de reforço e o respectivo detalhamento da anomalia de cabo sem retorno.

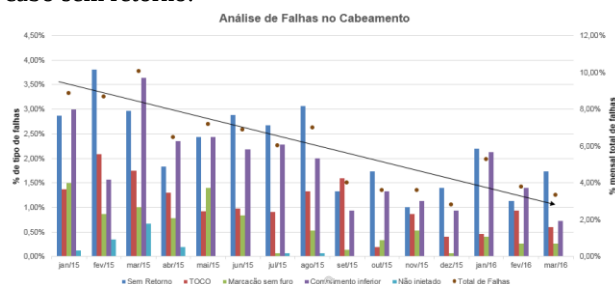


Figura 17: Detalhamento do controle de qualidade total do sistema de cabeamento, desde 2015.



Figura 14: Evidência de fuga de mistura ligante pelas trincas.

Com o intuito de eliminar anomalias de cabos sem retorno estudos para incorporação na mistura ligante de aditivos químicos para alterar o comportamento da massa fazendo com que ganhe um comportamento tixotrópico foi realizada em 2014. A partir da adição desta, a mistura obteve um comportamento não-newtoniano / pseudoplástico da qual, quanto mais se submetia a esforços cisalhantes, mais

sua viscosidade diminui, logo, ao encontrar uma trinca, simulada pelo arranjo da foto abaixo, seus esforços cisalhantes diminuiriam, aumentando consequentemente a viscosidade e selando a trinca que como consequência permitiu que a coluna do furo pudesse ser totalmente preenchida, evitando a anomalia do sistema de reforço.



Figura 18: Arranjo realizado para simular o efeito do aditivo tixotrópico quando em situações de trincas no maciço rochoso.



Figura 19: Comportamento da mistura ligante quando contendo o aditivo, permitindo o preenchimento subsequente do restante do furo.



Figura 20: Comportamento da argamassa na trinca quando sem aditivo, impedindo que o furo seja totalmente preenchido.

Segundo Hutchinson and Diederichs (1996), o preenchimento incompleto da mangueira de suspiro utilizada durante o processo de injeção, pode provocar perdas de resistência de aderência próxima à face além de introduzir ao método incertezas do completo preenchimento da coluna, pois qualquer problema com a visualização da saída do ar pelo suspiro impede que se certifique que a coluna está completa. Como a mangueira de suspiro atual não permite o retorno da massa em virtude de sua bitola, testes de injeção e de resistência de aderência foram realizados em Fevereiro/14, alterando o diâmetro da mangueira de suspiro. No primeiro momento foi avaliado se a massa retornaria na mangueira com diâmetro interno de 13 mm e externo de 17 mm, mitigando o problema de não preenchimento do suspiro e certificando o total preenchimento da coluna. Diante dos resultados de resistência de aderência para cabos com 0,5 metros e 1m, não se percebeu variação entre as metodologias, apenas se observou dificuldade para que a massa com relação água/cimento de 0,4 retornasse pelo suspiro estudado, provocando em alguns casos risco de projeção de argamassa no operador.

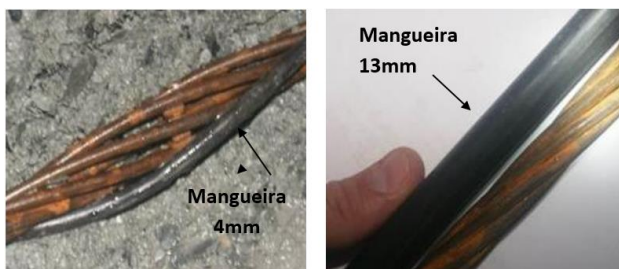


Figura 15: Comparação entre mangueira de suspiro testadas na Mina Cuiabá.

3 NOVAS MELHORIAS

Em acordo com a referência Hutchinson and Diederichs (1996), diversos modelos de cordoalhas podem ser aplicados para ganho de resistência de aderência, assim como, *nutcadge* e também o *birdcadge*. Para atender a demanda de implementação deste último nos equipamentos de cabeamento mecanizado, ensaios de comparação serão conduzidos com ambos materiais.

A utilização de aditivos tixotrópicos, permite

além do comportamento anteriormente citado que a mistura ligante não se contraia e aumente sua resistência a compressão uniaxial, logo, aumentará a aderência do sistema. Considerando a importância deste parâmetro, novos estudos serão realizados com este propósito.

CONCLUSÃO

Este trabalho compila as informações adquiridas desde o ano de 2008, onde foi iniciada uma investigação sistemática para aperfeiçoamento do sistema de cabeamento da Mina Cuiabá. As evidências práticas somadas às referências bibliográficas permitiu a realização de diversos testes que em sua grande maioria proporcionou resultados positivos quanto ao ganho de resistência de aderência e qualidade no processo. Mesmo mediante as diversas alterações e testes já apresentados no corpo deste artigo, novos desafios estão sendo investigados para que se possa em cada momento reduzir o risco envolvido na eficácia deste sistema de reforço.

Todos estes estudos convergem para que se tenha um sistema rocha suporte, eficaz as necessidades geotécnicas do meio da qual está inserida.

REFERÊNCIAS

- Arndt, S., Oliveira, D., Louchnikov, V., Weller, S. (2013) *3D Numerical Modeling AngloGold Ashanti Cuiabá Mine – MINEWPER00525AT*. Coffey Mining Specialists from boardroom to mine face, Perth, Australia.
- Hutchinson, D. J., Diederichs, M. S. (1996) *Cablebolting in Underground Mines*. Richmond: BiTech Publishers Ltd, Hammersmith way, Richmond, British Columbia, Canada.
- Kaiser, P. K., Yazich, S., Nosê, J. (1992). *Effect of Stress Change on the Bond Strength of fully Grouted Cables*. Pergamon Pres Ltd.