### ANALISE DA VIABILIDADE TÉCNICA COMPARATIVA DO NOVO PADRÃO DE TELAMENTO DA MINERAÇÃO CARAÍBA S.A.

Diego Santos Trindade, Mineração Caraíba S/A, e-mail: <u>diego.trindade1@gmail.com</u> Mário Sérgio Sacramento Correia, Mineração Caraíba S/A Erisvaldo Bitencourt de Jesus, Universidade Federal da Bahia Paulo Gustavo Cavalcante Lins, Universidade Federal da Bahia Larissa Regina Costa Silveira, Universidade Federal da Bahia

### RESUMO

A contenção de aberturas em rocha em minas subterrâneas é uma atividade fundamental para a longevidade das escavações. Embora frequentemente utilizadas, telas metálicas normalmente são combinadas com outros suportes e, durante o processo operacional na lavra, perdas são verificadas em decorrência da sua degradação. No presente trabalho foram realizados ensaios de resistência para avaliar o impacto de reforços do sistema de solda entre fios (nós) no desempenho de telas metálicas através de um aparato experimental concebido para mimetizar os carregamentos reais aos quais as telas são submetidas quando aplicadas nas galerias de desenvolvimento da Mineração Caraíba S/A. Os resultados dos ensaios sugerem importante aumento da resistência à tração de telas com reforço de solda.

Palavras-chaves: Tela metálica; Reforço; Contenção.

## ABSTRACT

The containment of openings in rock in underground mines is a fundamental activity for the longevity of excavations. Often used, wire mesh is usually combined with other supports and, during the mining operational process, losses are verified as a result of its degradation. In the present work, resistance tests were carried out to evaluate the impact of reinforcements in the weld system between wires (nodes) on the performance of wire mesh through an experimental apparatus designed to mimic the actual loads to which the mesh is subjected when applied in the galleries development of Mineração Caraíba S/A. The results of the important exercises increased the tensile strength of screens with welded reinforcement.

Keywords: Metalica screen; Reinforcement; Containment.

## INTRODUÇÃO

Para garantir a manutenção da estabilidade do maciço rochoso nas galerias de produção e desenvolvimento nas minas subterrâneas, são utilizados suportes mecânicos que propiciam uma vida útil das escavações compatível com o tempo de atividade dessas galerias. Os suportes mais comuns aplicados à sustentação do maciço são: tirantes, cabos, telas e concreto projetado [1].

Um dos maiores índices de acidente no setor extrativo mineral decorre da queda de rochas instáveis dos tetos ou laterais de galerias, denominadas "choco" [2]. Com o objetivo de conter a queda dessas porções de rochas, adotou-se nas minerações subterrâneas, o uso de telas metálicas. Contudo, as atividades de desmonte de rocha atrelada ao fato das telas usadas não serem próprias para tal atividade, resultam em sua deterioração, caracterizando um passivo de contenção cíclico.

Na Mineração Caraíba S/A (MCSA) é comum o uso de telas metálicas na contenção de galerias, fixadas a tirantes através de placas e porcas, com o objetivo de conter pequenos blocos que venham a se desprender entre os tirantes. As telas aplicadas na mina subterrânea da MCSA, como noutras empresas do setor, são originalmente projetadas para aplicação na construção civil. Como consequência, os pontos de solda responsáveis pela união dos fios transversais e longitudinais das telas não oferecem resistência suficiente para suportar blocos que possam vir a se desprender dos tetos e paredes das galerias bem como são insuficientes para resistir lançamentos de fragmentos de rocha das frentes de desmonte.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o sistema de contenção de galerias de desenvolvimento da Mineração Caraíba S/A, com vistas à redução de passivos originados pela degradação de telas metálicas após o desmonte de rocha das frentes de avanço. Para isso, foram executados testes de resistência nas telas utilizadas no momento e também em telas com reforço em determinado pontos de solda, a fim de comparar o desempenho.

# ASPECTOS TEÓRICOS

### Determinação do tipo de suporte do maciço

As escavações de galerias subterrâneas de grandes dimensões exigem um conhecimento tão aprofundado quanto possível sobre as características geológicas e geomecânicas dos maciços rochosos em que vão ser implantadas, pois é com esse conhecimento que se torna possível entender qual será o comportamento do maciço diante de intervenções, como escavações e, consequentemente, dimensionar adequadamente os sistemas de suporte, propiciando ao projeto estabilidade, segurança e economia. A seleção e dimensionamento do suporte para escavações subterrâneas se baseiam em métodos empíricos (classificações geomecânicas), semi-empíricos (meios contínuos e descontínuos) e numéricos (diferenças finitas, elementos finitos e elementos de contorno) [3]. Os métodos empíricos fornecem apenas uma configuração preliminar, para um projeto de reforço de rocha, partindo estes, em muitas minas, de métodos semi-empíricos [4].

#### Atirantamento por formação de arco de compressão.

A seleção de suporte por formação de arco de compressão é um dos métodos empíricos de dimensionamento de suporte. Conforme encontrado em [5] os tirantes atuam formando uma zona de compressão induzida fornecendo um reforço efetivo para a massa rochosa. Quando o espaçamento (s) dos tirantes for menor do que 3 vezes o diâmetro médio dos fragmentos

de rocha, o comprimento de tirante L deverá ser de aproximadamente 2s. A Figura 1 ilustra como a área de influência de cada tirante interage, formando o arco de compressão, representado em vermelho. Nota-se a presença de uma zona sem suporte entre as arruelas, fora do arco de compressão, o que propicia a queda de blocos devido a ação da gravidade, necessitando de aplicações de telas metálicas ou concreto projetado.



Figura 1. Ilustração da ação do tirante sobre o maciço fraturado e formação da zona de compressão (Adaptado de [5]).

# Telas metálicas

As telas metálicas têm sido usadas como suporte na mineração desde os anos 50, podendo ser soldadas, em metal expandido ou trançadas, além da ampla variação dos seus fios quanto a sua forma física e propriedades mecânicas [6]. Conforme definido em [7], as telas metálicas são suportes passivos instalados para suportar pequenos fragmentos de rocha soltos destacados dentro de um padrão de atirantamento. O mecanismo de carregamento da tela pode ser tanto por força de carga uniforme quanto por volume de rocha ou carregamento pontual por blocos de rochas individualmente soltos [7]. Em última análise, conforme preconizado em [8], o papel da tela metálica é o responder a significativos movimentos para o interior da massa rochosa em torno de uma escavação e transferindo-os aos sistemas de reforços.

### Testes envolvendo telas metálicas

Embora utilizadas com frequência, as telas soldadas, em metal expandido ou trançadas não são confeccionadas para uso direto em mineração [6]. Por esta razão, em várias ocasiões são realizados ensaios para atestar a resistência e determinar as telas mais apropriadas às contenções e segurança das galerias das minas subterrâneas. Diversos trabalhos são encontrados na literatura reportando os resultados de ensaios estáticos e dinâmicos de resistência à tração em telas metálicas com uso de diferentes arranjos experimentais [9 - 11].

De acordo com descrito em [9], testes dinâmicos e estáticos foram realizados na WASM – *Western Australian School of mines* (Escola de Minas da Austrália), com intuito de comparar o desempenho de telas soldadas e trançadas. O ensaio dinâmico consistiu em uma estrutura parafusada a uma amostra com 1,30 por 1,30 m fixadas a barras roscadas, manilhas e olhais, com uma massa de carga colocada no centro da contenção (Figura 2a). Essa massa consiste em um saco em forma de pirâmide preenchido com uma massa conhecida de esferas de aço (0,5 ou 1 t).A área de carregamento do saco é de 650 × 650 mm. O feixe de queda e o conjunto anexado são descartados de uma altura específica para gerar carregamento dinâmico na amostra de malha [9]. Já o ensaio estático consiste em duas armações de aço; uma estrutura inferior usada para suportar a amostra e uma estrutura superior usada para fornecer reação (Figura 2b). Neste caso, uma amostra

também de  $1,3 \times 1,3$  m é contida dentro de uma estrutura rígida que repousa sobre o quadro de amostra. Esse ensaio possui condições de contorno que tentam simular a continuação do material para além do limite da amostra [9].



Figura 2. Instalações da WASM. a) teste dinâmico; b) teste estático (Adaptado de [9]).

Nos testes estático e dinâmico, o desempenho da malha é caracterizado pela força-resposta de deslocamento no centro do painel. Para testes estáticos, a força é medida diretamente pela célula de carga e o deslocamento é inferido a partir da taxa e duração da aplicação da carga. Em testes dinâmicos, um acelerômetro na massa de carga é usado para inferir a força que causa a sua desaceleração. O deslocamento relativo entre o centro do painel e suas bordas é calculado a partir dos dados de instrumentação gravados durante o teste [9].

De acordo com observado em [10], motivada pela redução de acidentes envolvendo queda de chocos em minas subterrâneas de carvão pela introdução da aplicação da tela metálica soldada, a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) vem avaliando o desempenho de telas com diferentes características. Em um laboratório de pesquisas em *Pittsburgh* foram realizados teste de tração para avaliar as características de desempenho de telas com diferentes espessuras de fios em uma malha de 4 × 4 polegadas, correlacionado a espessura dos fios com o descolamento sofrido pela carga aplicada.

Ainda de acordo com o encontrado em [10], um quadro de teste, designado MRS, foi instalado no *Mine Roof Simulator* (MRS), utilizando 4 parafusos para anexar a tela a esse quadro de teste, como esquematizado na Figura 3.O aparato foi projetado com a capacidade de variar o espaçamento dos parafusos entre 4 e 5 ft. Uma placa de carga quadrada de 1ftcom cantos arredondados foi usada para aplicar uma carga no centro da tela. Nos testes realizados na MRS, a tela poderia ser deslocada entre 20 e 22 polegadas. Os testes foram executados em deslocamentos controlados a uma taxa de 2 in / min. Esta taxa é suficientemente lenta para garantir que a tela seja carregada estaticamente e não dinamicamente. Um teste típico levaria aproximadamente 10 min, com as deformações medidas por um computador.



Figura 3. Configuração da estrutura experimental usada para ensaiar a tela de arame soldado. Espaçamento entre tirantes é de 4 × 4 ft. (Adaptado de [10]).

Durante testes de tração realizados em tiras com 300 mm de largura, confeccionadas com 5 fios de aço de 10 mm de diâmetro (tiras de Osro), usadas juntamente com telas em escavações de longo prazo na África do Sul (Figura 4), [11] estimou que o volume de rocha da região sem suporte entre as arruelas ou placas, ou seja, o volume de rochas destacadas contido pela tela, se aproxima de uma pirâmide de base quadrada, com uma altura igual a metade do espaçamento entre os tirantes, como pode ser visto da Figura 5. Com isso, se torna possível calcular a massa de rocha dentro dessa pirâmide de volume conhecido.



Figura 4. Carga excêntrica de correias Orso no subsolo (Adaptado de [11]).



Figura 5. Pirâmide quadrada (Fonte: [11]).

Sendo assim, os requisitos de resistência da tela foram, portanto, calculados considerando o peso da rocha solta dentro desta forma, como mostra a equação 1, sendo, *L* o peso,  $\delta$  a densidade, *g* a aceleração gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>) e *l*, *w* e *h* as dimensões da pirâmide assumindo  $h = \frac{1}{2} I[11]$ .

$$L = \frac{\delta g \, l w \, h}{3}$$

Em um estudo que apresenta diferentes arranjos de atirantamento destinados a maciços de diferentes condições de carregamento, [12] determinou que ao assumir o ângulo de reforço de um único tirante como 90°, a espessura da zona de compressão, *t*, é relacionada ao comprimento do tirante fincado na rocha ( $L_b$ ) e espaçamento (*s*), como pode ser visto na Figura 6 e calculada pela equação 2.



Figura 6. Interação de reforços entre os tirantes. (Fonte [12])

$$t = L_b - s \tag{2}$$

Esse estudo permitiu ainda relacionar a altura da pirâmide de base quadrada com o comprimento do tirante fincado na rocha  $(L_b) e$  com a espessura da zona de compressão (t), conforme é mostrado na equação 3.

$$h = \frac{L_b}{2} - \frac{t}{2} \tag{3}$$

Diversos trabalhos na literatura mostram que teste de resistência envolvendo telas metálicas podem ser realizados para comparar diferentes tipos de telas [9] e variações de padrões constitutivas, como, por exemplo, a espessura dos fios (10). No presente trabalho foram realizados ensaios de resistência para avaliar o impacto de reforços do sistema de solda entre fios (nós) no desempenho de telas metálicas através de um aparato experimental concebido para mimetizar os carregamentos reais aos quais as telas são submetidas quando aplicadas nas galerias de desenvolvimento da Mineração Caraíba S/A.

#### **METODOLOGIA**

O aparato experimental utilizado no presente trabalho, baseado na estrutura utilizada em [10], foi montado em um galpão sob responsabilidade do setor de geotecnia na Mineração Caraíba S.A, a fim de reproduzir um teste estático, tracionando a tela a partir do acionamento de um macaco hidráulico, com leituras do acréscimo da força de tração feitas por um dinamômetro analógico (Figura 7). As telas testadas apresentavam diferentes esquemas de reforço de solda como visto na Figura 8, sendo mantida a espessura do fio de 4,20 mm, a malha 10 × 10 cm e dimensões de 2,70 × 2,90 m.

Objetivando dar sustentação às telas, foram aplicados no piso do galpão 4 tirantes, seguindo uma malha de  $1,2 \times 1,3$  m, malha padrão adotada no aprofundamento da mina subterrânea da MCSA. Uma placa metálica com dimensão de 0,16 m<sup>2</sup> ( $0,4 \times 0,4$  m) fora fixada à girafa transferindo e distribuindo o esforço às telas aplicado de maneira gradual e intermitente em frações de 50 kgf. Um lastro de madeira foi fixado ao centro da tela auxiliando nas leituras de deslocamento, realizadas com uma régua metálica conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7. Aparato usado no teste de tração. A) O dinamômetro. B) Girafa. C) Macaco hidráulico. D) Régua metálica. E) Tirante fixado no piso. F) Placa metálica de 40 x 40 cm. G) Lastro de madeira usada para auxiliar na medição.

Nos ensaios, cinco tipos de configurações de reforço de solda foram avaliados além da tela atualmente utilizada na mina subterrânea, sem nenhum tipo de reforço, sendo nomeadas de: primeira malha (Figura 8**a**), segunda malha (Figura 8**b**), terceira malha (Figura 8**c**), quarta malha (Figura 8**d**), quinta malha (Figura 8**e**), e sexta malha (Figura 8**f**). Foram submetidas ao ensaio cinco telas de cada configuração. A disposição das telas nos tirantes seguiu um padrão, posicionando o lado com 2,70 m no espaçamento de 1,30 m, com uma sobra de 0,70 cm ou 7 malhas para cada lado.

Após os testes realizados, foi determinado um modelo de reforço para que fosse empregado em campo juntamente com as telas sem reforços, comparando o comportamento dos modelos com os esforços *in situ* e seu comportamento pós-desmonte. Com isso tentou-se avaliar a resistência após a detonação em uma frente de desenvolvimento, amenizando o passivo de contenção. A cada desmonte realizado na frente de desenvolvimento, foram levantadas quantas telas haviam sido aplicadas e quantas se mantiveram integras após o desmonte.





### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### Determinação da tensão da zona solta

O estudo experimental de tensão e deslocamento realizado em malhas de telas de aço com diferentes configurações de reforço de solda traz uma contribuição à geomecânica no âmbito das contenções de galerias com consequente aumento da segurança dos colaboradores durante a execução das atividades. Diferente do observado em [10], que fixou os esforços simulando uma carga de 25.000,00 libras (11.339,81 kg ou 1.156,40 kgf) objetivando a ruptura dos fios das telas usadas nos testes, os esforços empregados nos ensaios realizados no presente trabalho tiveram como objetivo verificar se haveria ruptura dos pontos com reforço de solda. No entanto, devido às limitações dos equipamentos só foi

possível elevar a força até 9.810,00 N (1.000,00 kgf), gerando uma tensão máxima de 61,31 kPa, aproximadamente, calculada de acordo com a área da placa, de 0,16 m<sup>2</sup>.

Apesar da limitação, os testes podem ser validados pela determinação teórica de resistência das telas aos esforços *in situ*. A equação 1 usada em [11] busca apreçar o peso (L) no qual a tela deverá ser submetida em campo levando em consideração a malha de atirantamento adotada, obtendo-o conforme mostrado abaixo:

$$L = \frac{2,98 \times 9,81 \times 1,20 \times 1,30 \times h}{3}$$

Diferente do apresentado em [11], a altura *h* da pirâmide, foi relacionada ao cálculo da espessura da zona de tensão (t), que pode ser obtida com a diferença entre o comprimento do tirante fincado dentro do maciço ( $L_b$ ) e o espaçamento (s), como foi mostrado na equação 2. Sabendo que Lb é igual 2,10 m e s é igual a 1,30m, o valor de t é, portanto, 0,80m. Com isso, através da equação 3, se determina o valor de h, no caso, igual a 0,65m.

Substituindo o valor de h na equação 1, como demonstrado acima, tem-se que L é igual a 9881,02 N. Com isso, levando-se em consideração que a área de aplicação dos ensaios é de 0,16 m<sup>2</sup> e sabendo que tensão é igual a força dividido pela área, têm-se que a tensão é igual a 61,76 kPa, como mostrado abaixo:

$$T = \frac{9.881,02}{0,16} = 61.757,5 \text{ Pa} = 61,76 \text{ kPa}$$

De acordo com o resultado obtido através da interação entre as equações encontradas em [11] e [12], o valor da força aplicada nos ensaios ficou apenas a 71,02 N (0,45 kPa) ou 0,72% abaixo da estimativa teórica do que pode vir a ser exigido em campo. Logo, o diagrama de tensão e deformação traçado com os resultados dos ensaios, representa uma parcela significativa dos esforços aos quais as telas deverão resistir em campo.

### Resultados dos ensaios de tensão × deslocamento das telas metálicas

A Figura 9 sumariza os resultados observados dos ensaios de tensão deslocamento das telas padrão e com diferentes esquemas de reforço de solda. Os pontos destacados em preto representam os tirantes de fixação; o quadrilátero preto representa a área de carga; as elipses tracejadas representam ruptura de linhas; os círculos tracejados representam os nós sem reforço que se romperam; os círculos em negrito representam ruptura de pontos com reforço de solda enquanto as setas indicam o sentido do esforço.

A Figura 9a ilustra os pontos de falha dos nós eletrossoldados observados nos ensaios das telas da primeira malha (malha padrão aplicada na contenção das galerias da MCSA). As telas ensaiadas, com esta configuração, apresentaram ruptura dos primeiros pontos sem reforço de solda ao serem submetidas a uma carga de 50 kgf. Durante a fixação das telas aos tirantes foram observadas algumas ocorrências de ruptura das soldas próximas aos pontos de fixação da tela aos tirantes. Em 350 kgf registrou-se o rompimento de uma linha abruptamente, com o colapso simultâneo de 5 pontos. Neste contexto, a tela tornar-se-ia ineficiente, pois permitiria a passagem de blocos com dimensões superiores às da malha, de 10 x 10 cm.

A Figura 9**b** demonstra as rupturas observadas nos ensaios das telas da segunda malha, comportando 3 pontos de reforço a cada 400 cm<sup>2</sup>. As telas ensaiadas com esta configuração apresentaram ruptura dos primeiros pontos sem reforço de solda com 300 kgf. A partir

desse ponto, ocorreram sucessivas rupturas de pontos sem reforço à medida que se elevava a força. A ruptura desses pontos seguia geralmente mesma orientação propiciando ao rompimento de linhas. Em 550 kgf registrou-se o rompimento da primeira linha resultado da propagação da ruptura dos pontos. Até elevação da força à máxima, nenhum ponto com reforço de solda colapsou.



Figura 9. Representações esquemáticas das rupturas das telas observadas durantes os ensaios. Os pontos pretos representam os tirantes de fixação. O quadrilátero preto representa a área de carga. As elipses tracejadas representam ruptura de linhas. Os círculos tracejados representam os nós sem reforço que se romperam. Os círculos em negrito representam ruptura de pontos com reforço de solda. As setas indicam o sentido do esforço. Fonte: Próprio autor.

O resultado das telas da terceira malha, com 4 pontos de reforço a cada 400 m<sup>2</sup>, pode ser observado na Figura 9**c**, ilustrando os principais pontos de fraqueza. O primeiro ponto sem reforço de solda se rompeu com 400 kgf. A partir do primeiro evento observou-se o colapso gradual dos pontos sem reforço com mesma orientação, à medida que se aplicava tensão e a tela deformava. Com 500 kgf já se registrava o colapso de uma linha. Não houve registro de ruptura de nenhum ponto com reforço de solda.

As observações dos ensaios realizados com as telas da quarta malha (malha contendo 5 pontos de reforço a cada 400 cm<sup>2</sup> de tela) permitiram a construção da Figura 9**d**. Registrouse a ruptura do primeiro ponto sem reforço de solda com 400 kgf. Daí em diante o aumento gradual da força resultava no colapso dos pontos sem reforço. Não houve nesta malha, o desprendimento de um fio, como nos casos anteriores. Com a malha de reforço em configuração estagiada, pontos de mesma linha não se rompiam, evitando o desprendimento de uma linha inteira. A orientação da ruptura dos pontos era em diagonal, sendo cercados por soldas evitando movimentação suficiente para permitir a passagem de blocos maiores que  $10 \times 10$  cm, malha da tela.

A quinta malha, com 6 pontos de reforços em 400 cm<sup>2</sup>, apresentou comportamento ilustrado na Figura 9e. A primeira ruptura em pontos sem reforço de solda, com 400 kgf. A partir do primeiro colapso o aumento gradativo da tensão em 50 kgf gerava ruptura de novos pontos, em geral, na mesma linha da primeira ocorrência. Em 700 kgf já havia linhas completamente soltas, tornando a tela ineficiente. Esta malha foi a primeira a apresentar ruptura de um ponto com reforços de solda, com uma força de 900 kgf localizada perto da placa de apoio, responsável por prender a tela no tirante. Analisando a ruptura observou-se que foi provocada por uma força cisalhante originada pela própria placa de apoio devido a forma como foi instalada ao tirante, com sua ponta inclinada no sentido contrário ao da tensão.

Durante os ensaios a sexta malha, com 9 pontos de reforços em 400 cm<sup>2</sup>, comportou-se conforme Figura 9f. Foi registrada a ruptura de pontos de solda em 2 casos, com forças de 900 kgf e 950 kgf. Ambos foram localizados na região de contato com a placa responsável por prender a tela ao tirante. Com a deformação da tela a medida que se adicionava mais força de tração, a placa acabava exercendo uma tensão de cisalhamento, resultando na ruptura dos pontos com reforço de solda. A quinta malha já havia apresentado o mesmo problema, mas, devido à série de testes e desgaste da rosca do tirante a placa acabava sempre ficando um pouco inclinada, o suficiente para cisalhar algumas amostras.

Na Figura 10 é possível verificar os diagramas tensão x deslocamento construídos a partir dos resultados dos ensaios, traçados a partir da deformação média, para um dado valor de tensão. Observa-se uma proximidade entre os diagramas das diferentes malhas, fator que pode estar atrelado às limitações do aparato experimental ou inconformidades das próprias telas. Ainda assim, os resultados são válidos, pois permitem uma estimativa do comportamento das malhas frente ao reforço de solda.

A curva que melhor de se adequou ao comportamento das deformações foi a potência, apresentando valores de R<sup>2</sup> mais próximos de 1. Sua equação fundamental é da forma  $y = ax^b$  com y representado a tensão aplicada e x a deslocamento resultante. Os parâmetros do modelo foram determinados pelo ajuste dos pontos experimentais à curva teórica usando o método dos mínimos quadrados com o software Excel. A Tabela 1 apresenta os parâmetros das equações de correlação bem como o R<sup>2</sup>. Pretendia-se estabelecer uma relação entre os coeficientes e a quantidade de reforços da tela, a partir dos dados da Tabela 1, não sendo possível.

Tela	а	b	R <sup>2</sup>
Primeira malha	157,81	1,8276	0,9977
Segunda	285,40	1,8966	0,9922
Terceira malha	215,07	1,7847	0,9975
Quarta malha	315,51	2,0389	0,9973
Quinta malha	253,51	2,2414	0,9988
Sexta malha	308,85	1,8774	0,9965

Tabela 1. Equações que regem as linhas de tendência resultantes. Fonte: Próprio autor.



Figura 10. Diagrama tensão versus deformação contendo todos os resultados obtidos, malha por malha. Fonte: Próprio autor.

#### Validação com ensaios de campo

A partir de dados experimentais, mediante a seleção das telas mais favoráveis, optou-se pela escolha da quarta malha (malha contendo 5 pontos de reforço a cada 400 cm<sup>2</sup> de tela) pra fim de testes em campo. O teste consistia em aplicar as telas de diferentes configurações em galerias ativas, e contabilizar quantas telas resistiriam após a realização do desmonte da frente de desenvolvimento. Foi um total de 30 frentes avaliadas, sendo 15 para cada modelo, Figuras 11 e 12.

Ao final dos ensaios de campo, contabilizou-se uma perda de aproximadamente 70% para a primeira malha. A Figura 11**b** demonstra o estado das telas após os desmontes. Para a quarta malha a perda contabilizada foi de aproximadamente 40%, com o resultado das telas pós-desmonte ilustrada na Figura 12**b**. Logo, a redução da perda em comparação com a da primeira malha de reforço foi de aproximadamente 57%.

Levando em consideração apenas o custo unitário, a implementação da quarta malha de reforço não seria vantajosa. Entretanto, espera-se que o custo hora × homem seja menor para operações realizadas em galerias que utilizarem a nova malha, devido à redução no tempo de ciclo em virtude da diminuição do retrabalho, o que justifica a realização de mais estudos, dessa vez com viés econômico, a fim de comprovar a viabilidade dessa mudança.



Figura 11. Antes (a) e depois (b) do N-707 após detonação de uma frente de desenvolvimento, com a tela antiga (Primeira malha). Fonte: Próprio autor.



Figura 12. Antes (a) e depois (b) do N-840 N1 após a detonação de uma frente de desenvolvimento, com o reforço no padrão da quarta malha. Fonte: Próprio autor.

# CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o sistema de contenção de galerias de desenvolvimento da Mineração Caraíba S/A, com vistas à redução de passivos originados pela degradação de telas metálicas após o desmonte de rocha das frentes de avanço. Cinco diferentes configurações de reforços de telas, com soldagem elétrica dos nós, além da tela atualmente utilizada na Empresa (tela padrão), foram submetidas a ensaios de tensão x deformação em aparato concebido para mimetizar as condições reais de campo. Os resultados dos ensaios obtidos permitem inferir as seguintes conclusões:

- A tela padrão (sem reforço de solda) apresentou ruptura quando submetida a esforços de tração de 50 kgf, enquanto que o menor esforço capaz de romper as telas com qualquer configuração reforço de solda avaliado foi de 300 kgf.
- A configuração de reforço de tela com melhor desempenho, ou seja, maior capacidade de resistir aos esforços de tração, foi aquela que continha a maior quantidade de reforços de solda, 9 em 400 cm<sup>2</sup>. No entanto, desempenho similar foi observado para a configuração que continha 5 reforços de solda em 400 cm<sup>2</sup>, e, por apresentar menor custo, essa configuração foi selecionada para ensaios de campo.
- Os ensaios de campo realizados com a malha contendo a configuração de reforço de 5 em 400 cm<sup>2</sup> demonstram que a adoção desta tela nas frentes de avanço foram suficientes para a redução do passivo oriundo da degradação das telas em decorrência do desmonte de rocha. Esses ensaios demonstraram que a redução de perdas das telas é da ordem de 57% em relação à perda observada quando da utilização das telas padrão (sem reforço de solda).

Os resultados desta pesquisa indicam que a técnica de reforço das telas, usadas na contenção de aberturas de galerias nas minas subterrâneas, com eletro soldagem dos nós é tecnicamente viável. Esta prática eleva à resistência a tração das telas e aumenta sua capacidade de resistir a danos provocados por ultralançamento de rochas das frentes de desmonte. Como consequência, esta técnica pode contribuir com a redução do retrabalho de contenção das galerias próximas às frentes de avanço e, portanto, contribuir para a redução do tempo de ciclo das operações mineiras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] HOEK. E., BROWN, E.T. (1980). Underground excavations in rock. IMM, London 527p

[2] FREITAS, M.A.S., de LIMA, R.P. (2017). Uso do método de contenção tirante com resinas: estudo de caso da Mineração Turmalina. Revista Engenharia de Interesse Social, João Monlevade – MG, vol. 1, n. 2, 13p.

[3] STILLBORG, B. (1994). Professional users handbook for rock bolting. 2 ed. Series on Rock and Soil Mechanics. In: Clausthal- Zellerfeld. Trans Tech Publications, v.18. 164 p.

[4] HUSTRULID, W.A., BULLOCK, L.B. (2001). Underground Mining Methodos: engineering fundamentals and international case studies. [S. I.]. Published by the Society for Minig, and Exploration, Inc, 2001. 718 p.

[5] HOEK, E. (2007). Practical Rock Engineering: rockbolts and cables. North Vancouver, British Columbia Canada. 341 p.

[6] MORTON, E.C., THOMPSON, A.G., VILLAESCURSA, E., ROTH, A. (2007). Testing and analysis of steel wire mesh for mining applications of rock surface support. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING, 11th, ISRM, 2007.

[7] PLAYER, J.R., VILLAESCUSA E., THOMPSON, A.G. (2004). Dynamic testing of rock reinforcement using the momentum transfer concept. Ground support in mining and underground construction, eds. E. Villaescusa and Y Potvin, 327-340, Leiden:Balkema. 2004.

[8] THOMPSON, A.G., WINDSOR, C.R., CADBY, G.W. (1999). Performance assessment of mesh for ground control applications. Rock support and reinforcement practice in mining. Villaescusa, Windsor, Thompson (ed). p. 119-130.

[9] VILLAESCUSA, E., THOMPSON, A.G., PLAYER, J.R. (2013). Static and dynamic testing of welded and woven mesh for rock support. In: Proceedings of the Seventh International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2013. p. 187-196.

[10] DOLINAR, D. R. (2009). Performance characteristics for welded wire screen used for surface control in underground coal mines. In: Proceedings of Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2009. p.659-666.

[11] WATSON, B.P., VAN NIEKERK, D., PAGE, M. (2017). An improved method of testing tendon straps and weld mesh. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. v.117, n.12, p.1139-1144.

[12] LI, CHARLIE C. (2017). Principles of rockbolting design. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. v.9, n.3, p.396-414.