

APLICAÇÃO DE TELAS COMO PROTEÇÃO COMPLEMENTAR NA MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA DE CARVÃO

Evandro José Scariot¹

Arilto Alves Valente²

Resumo: As quedas de pequenos blocos de rocha entre os parafusos do teto das minas subterrâneas de carvão geram ferimentos. A tela instalada entre os espaçamentos dos parafusos pode reduzir o número de ferimentos. A tela de arame eletrosoldada e a tela de poliéster são as mais usadas para o controle de teto em minas de carvão subterrâneas. A função da tela é prender blocos soltos de rocha sem se romper ou sofrer uma grande deformação. Este trabalho se propõe a analisar, pela aplicação de cargas e observação das deformações e da ruptura, a qualidade da proteção quanto ao desprendimento de blocos soltos do teto das minas de carvão. Este trabalho foi realizado no centro universitário UniSATC em uma banca metálica, com quatro tirantes nas extremidades para fixar a tela e um cilindro hidráulico no centro exercendo uma força, perpendicular a superfície da tela. Esta configuração simula a disposição dos tirantes nas minas e a força exercida pelo cilindro hidráulico simula o bloco de rocha atuando sobre a tela. A cada deslocamento de 5 cm foi medido a pressão (em Bar) no manômetro essa sequência se deu até o fim de todo curso do cilindro hidráulico. Dentre os quatro tipos de telas testadas, a tela eletrosoldada galvanizada suportou maior deslocamento e um valor de carga intermediária, e a tela trançada galvanizada hexagonal se comportou de forma elástica sofrendo uma deformação sem sofrer qualquer tipo de ruptura e voltando a sua forma original quando removido a carga. A tela de poliéster apresentou o menor valor de resistência, já a tela eletrosoldada não galvanizada suportou uma alta resistência em menor deslocamento.

Palavras-Chave: Mineração subterrânea de carvão. Proteção contra queda de blocos. Tela metálica. Tela poliéster. Gráfico tensão x deformação.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a segurança no trabalho é crescente na prática da mineração – beneficiamento de minérios presentes no subsolo, como o carvão. No desenvolvimento dessa atividade, a instalação de tela de proteção tem se mostrado a maneira mais eficaz de evitar acidentes com quedas de pequenos blocos de rochas entre os parafusos do teto das minas subterrâneas, em razão de sua capacidade de

¹ Graduando em Engenharia de Minas. Ano 2021-2. E-mail: evandrojscariot@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: arilto.valente@satc.edu.br

cobrir todos os espaços nos locais de permanência dos trabalhadores fora da atividade de produção e na frente de trabalho também propriamente dita.

A ocorrência de descontinuidades no maciço como falhas, dique de diabásio e outras anomalias geológicas geram risco que queda de blocos de rocha com risco de segurança aos colaboradores. Por conseguinte, algumas minas já estão adotando a aplicação de tela em locais específicos de atividades no subsolo.

Além disso, a instalação de tela no teto das minas, ao prevenir ferimentos e fatalidades, gera um impacto econômico positivo, pois reduz custos com cobertura a lesões e à indenização de trabalhadores, e promove segurança e bem-estar ocupacional. Não há Norma Regulamentadora (NR) específica da Comissão Tripartite Paritária Permanente (CTPP) sobre segurança e saúde do trabalho que recomende ou normatize a aplicação de telas em qualquer atividade, até mesmo na mineração, assim, cada empresa a aplica conforme testes realizados em sua própria estrutura.

A NR-22, que trata da segurança e saúde ocupacional na mineração, no item 22.14.2, apenas cita que a empresa deve monitorar o movimento dos estratos e tratar de forma adequada o teto e as paredes dos locais de trabalho e de circulação de pessoal (BRASIL, 1999).

A escolha dos tipos de tela leva em consideração as características geológicas e geomecânicas da rocha e do método da lavra a ser utilizado (SILVA, 2018 *apud* ALVES, 2019, p. 18), havendo atualmente disponíveis no mercado telas metálicas e de poliéster. Para aplicação na mineração, as telas são utilizadas juntamente com chapas de aço que são restringidas por tirantes (ALMEIDA, 2021).

Segundo ALVES, (2019, p.19):

Nos últimos 30 anos não houve muitas mudanças na fabricação de telas. A mudança mais relevante foi em relação à resistência dos materiais. As mudanças foram principalmente na capacidade de alongamento, diâmetros de fio e condições de superfície dos materiais sendo fio liso ou deformado.

Nos últimos anos foram realizadas pesquisas com o objetivo de entender melhor o comportamento desse suporte, tendo em vista ganhos significativos sobre a estabilidade e segurança das escavações e a redução de custos com outros suportes. Nesse contexto, a sua aplicabilidade na atividade de mineração é um tema que demanda mais atenção e precisa ser devidamente explorado. Portanto, a

apresentação e análise de técnicas de caracterização de telas, com a finalidade de identificar a melhor opção de aplicação para cada mina, evidencia a relevância deste estudo para a área. O objetivo deste trabalho é ser uma das primeiras fontes de referência sobre telas metálicas e não metálicas para mineração subterrânea de carvão no Brasil.

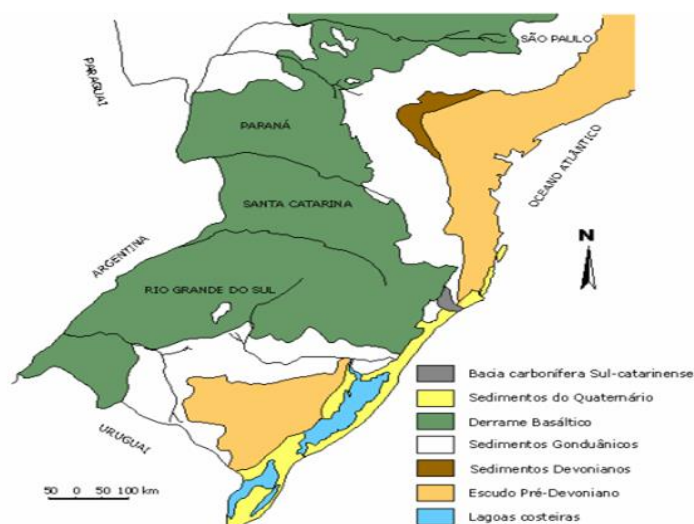
Para isso foi realizado um estudo comparativo entre quatro modelos de telas disponíveis no mercado. Foram realizados testes de carregamento na instituição de ensino UniSATC com o intuito de analisar a resistência mecânica à tração e as deformações sofridas quando submetidas ao carregamento. O trabalho foi realizado em parceria com a Carbonífera Metropolitana S/A e os resultados encontrados servirão como fonte de referência para a seleção de uma tela adequada às necessidades das minas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A Região da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense está localizada na porção sudeste da Bacia do Paraná ilustrado na Figura 1, em uma área composta de rochas sedimentares e vulcânicas.

Figura 1: Mapa geológico do sul do Brasil com a localização da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense



Fonte: Souza (2002, p. 33)

Mais precisamente, situa-se ao sul do estado de Santa Catarina e compreende os municípios de Criciúma, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Forquilha, Cocal do Sul, Içara, Siderópolis, Nova Veneza, Treviso, Urussanga, Araranguá, Balneário Rincão e Orleans.

Segundo Anon (1985), citado por Weiss (2003) a bacia Sul Catarinense, é um dos mais importantes campos carboníferos brasileiros, conhecido por ser uma grande bacia sedimentar gonduânica intracratônica, cuja idade varia do Siluriano ao Cretáceo, estendendo-se do centro ao sul do Brasil e em parte do Paraguai, Uruguai e Argentina. O quadro 1 exibe a coluna estratigráfica da bacia do sul do Brasil, que consiste em cinco períodos, que variam do Pré-cambriano ao Quaternário.

Quadro 1: Coluna estratigráfica do sul do Brasil com a localização da Bacia Sul-Catarinense

Período	Litoestratigrafia				Litologia
	Grupo	Subgrupo	Formação	Membro	
Quaternário					Depósitos aluvionares e coluvionares
Jurássico	São Bento		Serra Geral		Diabásio cinza-esverdeado, grãos finos a médios, juntas verticais e veios preenchidos de calcita
Permiano			Estrada nova		Siltitos cinza-escuros e folhelhos com finos estratos de arenitos violeta-acinzentado
			Irati		Folhelhos escuros e siltitos com porções pirobetuminosas, lentes carbonáticas
	Tubarão	Guatá	Palermo		Siltitos cinza a esverdeados com estratos de arenitos, siltito preto com estrutura flaser
			Rio bonito	Siderópolis	Arenitos cinza-claro de finos a médios, presença de siltitos, folhelhos e camadas de carvão
				Paraguaçu	Siltitos cinza a esverdeado, finas camadas de carvão e arenitos
				Triunfo	Arenitos cinza-claro de finos a grosseiros, presença de siltito cinza-escuro, raras camadas de carvão

Permiano carbonífero		Itararé	Rio do sul		Sedimentação rítmica, diamictitos, arenitos e conglomerados
Pré-cambriano	Pedras Brancas	Inconformidade		Rochas graníticas: quartzo-monzonitos e granodioritos	

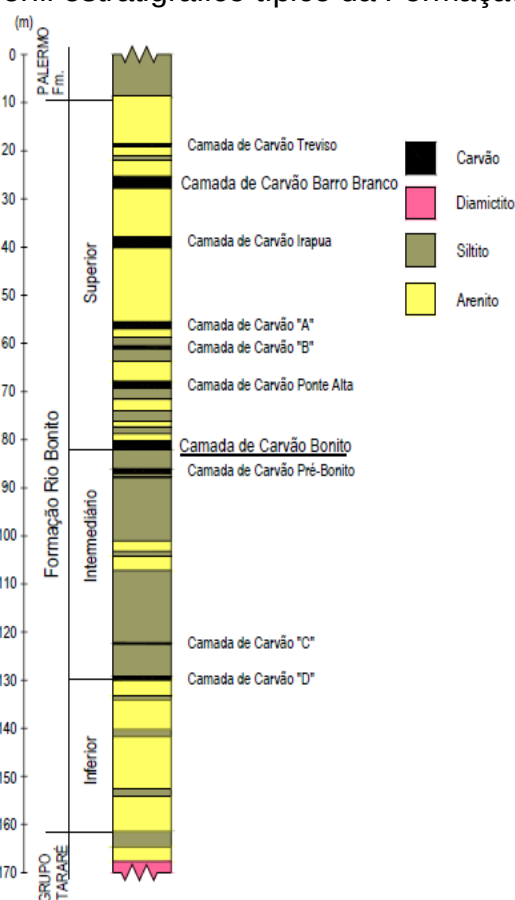
Fonte: Zingano (2002)

2.1.1 Formação Rio Bonito

Desde longa data são conhecidas várias camadas de rochas na Região Carbonífera de Santa Catarina, mas a que abrange as camadas exploráveis de carvão estão na Formação Rio Bonito, sendo algumas de ampla distribuição horizontal e outras, de caráter muito restrito; além disso, as características dos carvões também variam muito (CAYE *et. al.*, 1975).

As camadas de carvão de maior potencial econômico da região se encontram na parte superior da Formação Rio Bonito, apresentado na Figura 2.

Figura 2: Perfil estratigráfico típico da Formação Rio Bonito



Fonte: Zingano (2002)

As camadas Barro Branco e Bonito são as mais importantes, pois essas jazidas têm uma espessura considerável e grandes áreas, tornando sua extração economicamente viável (WEISS, 2003).

A Formação Rio Bonito, está situada na porção inferior do conjunto de rochas sedimentares integrantes da bacia e pertence ao Permiano Médio.

A espessura média dessa formação no sudeste catarinense é de 150 m. Acima da Formação Rio Bonito está a Formação Palermo e abaixo estão as litologias do Grupo Itararé (WEISS, 2003).

O geólogo Schneider dividiu essa formação em três intervalos: superior, médio e inferior, nomeando como membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (SCHNEIDER, 1974 *apud* WEISS, 2003):

- Membro Triunfo (Rio Bonito Inferior): formado de uma sequência de arenitos cinza-claro, de finos a grosseiros, com presença de siltito cinza-escuro e raras camadas de carvão.
- Membro Paraguaçu (Rio Bonito Médio): apresenta siltitos cinza a esverdeados, finas camadas de carvão e arenitos.
- Membro Siderópolis (Rio Bonito Superior): constitui-se de uma sequência de arenitos cinza-claro, de finos a médios, com presença de siltitos e folhelhos em camadas de carvão.

2.1.2 Competência do maciço rochoso do teto imediato

O teto das minas de carvão é formado por rochas horizontais estratificadas, juntas, falhas e outros planos de fraqueza. A rocha que está acima da camada de carvão é chamada de teto imediato e é formada por finas lâminas de folhelho, siltito, arenito laminado ou maciço e carvão dependendo da localização da mina, os quais são sustentados por tirantes resinados (WEISS, 2003).

A ruptura do teto imediato ocorre mais frequentemente nos cruzamentos de galerias, pois esse local apresenta um vão livre maior, e as variações litológicas, na sequência estratigráfica, como espessura e profundidade, provocam comportamentos geomecânicos diferentes e campos de tensões variados. Em adição, a profundidade afeta diretamente a envoltória das galerias sobre os pilares e o teto imediato (WEISS, 2003).

Quando o maciço apresenta descontinuidades como juntas ou fraturas, esses planos podem se abrir no teto imediato, como é ilustrado na Figura 3, e as tensões de cisalhamento, causadas pela concentração de tensão horizontal e posterior, podem causar sua ruptura (ZINGANO, 2002).

Figura 3: Teto imediato formado por arenito laminado



Fonte: Do autor (2021)

Por apresentar diversas camadas, o teto das minas de carvão tem contatos litológicos que tornam o maciço menos competente se for comparado ao comportamento geomecânico de uma única camada rochosa.

Segundo Andrade (2019), a utilização de explosivos é um fator que exerce influência direta na estabilidade do teto imediato.

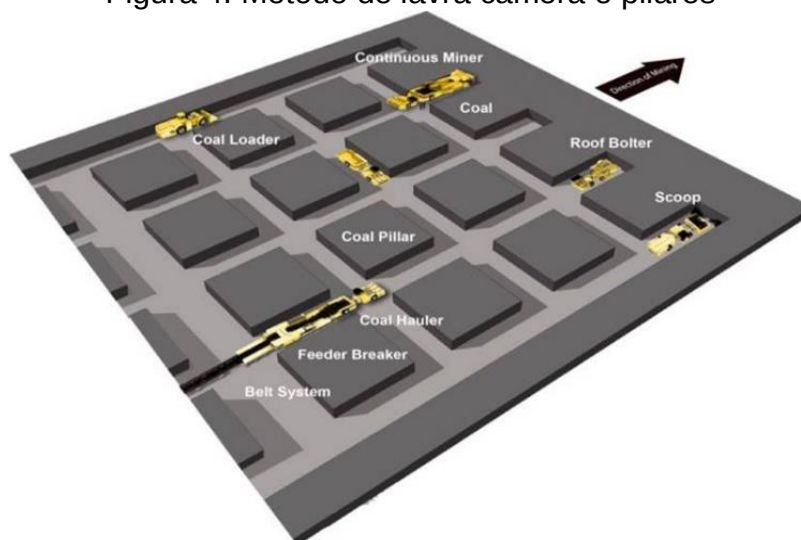
2.1.3 Método de lavra câmaras e pilares

O método de lavra câmaras e pilares é adaptável a depósitos sub-horizontais regulares com mergulho da jazida de até 30°, aplicável a profundidade de 450m para carvão e 600m para outros minérios. Com o avanço horizontal onde o suporte do teto é fornecido por pilares remanescentes naturais, do material lavrado que são deixados intactos ou recuperados posteriormente em um padrão sistemático por lavra em recuo. As galerias são cortadas a partir das entradas de acesso para proporcionar as faces de trabalho (FARMER, 1992).

Este método consiste na extração de câmaras, deixando pilares de minério ou rocha entre as câmaras, como mostrado na Figura 4, onde os blocos são os pilares

e os espaços entre eles as câmaras. Em rochas duras, os pilares são menores horizontalmente do que as câmaras, em rochas macias eles são geralmente muito maiores horizontalmente (MATOSO,2016).

Figura 4: Método de lavra câmara e pilares



Fonte: Advanced Mining Solutions (2000)

Este método pode ser aplicado em rochas duras, por exemplo: calcário, dolomita, metais (zinco, cobre, ouro) e em rochas friáveis como: carvão, potássio, sal (Harraz 2014;2015 *apud* MATOSO, 2016, p. 7)

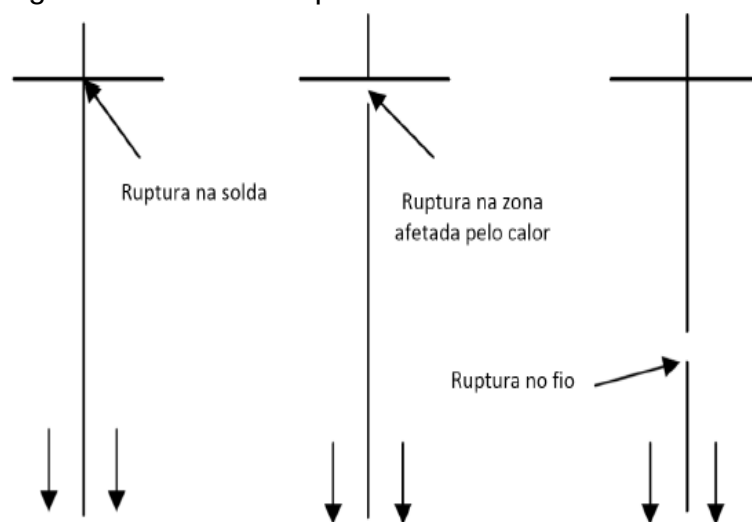
2.2 TELA METÁLICA

A tela metálica eletrosoldada é um produto formado por dois sistemas de elementos (barras e arames), um longitudinal e outro transversal, que se cruzam perpendicularmente e cujos pontos de contato estão unidos com soldas elétricas por fusão, isto é, sem acréscimo de material, o que permite obter emendas sólidas e acabamento de alta qualidade, é geralmente feita de arame de aço de baixo carbono ou arame de aço inoxidável. A tela trançada é produzida em arame galvanizado, os fios entrelaçados da malha, assim permitem a união de várias telas sem emendas, ou seja, sem a utilização de solda nesses pontos. É amplamente utilizada nas paredes e nos tetos das escavações como reforço de segurança, com a finalidade de absorver a queda de pequenos blocos de rocha (DSI UNDERGROUND, 2019).

De acordo com Villaescusa (1999 *apud* ALVES, 2019, p. 32), pode ocorrer ruptura na solda ou ao longo do fio de aço da tela metálica, sendo preferível que o rompimento ocorra no fio, e sob nenhuma circunstância durante seu manuseio ou instalação. As rupturas nos fios podem acontecer quando a carga máxima do aço utilizado em sua fabricação é atingida, enquanto as rupturas nas soldas podem acontecer a qualquer momento do carregamento.

Alves (2019) explica que podem ocorrer três possíveis situações de ruptura que é representado na Figura 5, quando cargas são aplicadas na tela: na solda entre os fios, e esse rompimento é conhecido como ruptura por cisalhamento; na zona afetada por calor durante a soldagem, devido à alta temperatura; e ao longo do fio, em razão das características do seu processo de fabricação.

Figura 5: Modos de ruptura em tela metálica soldada

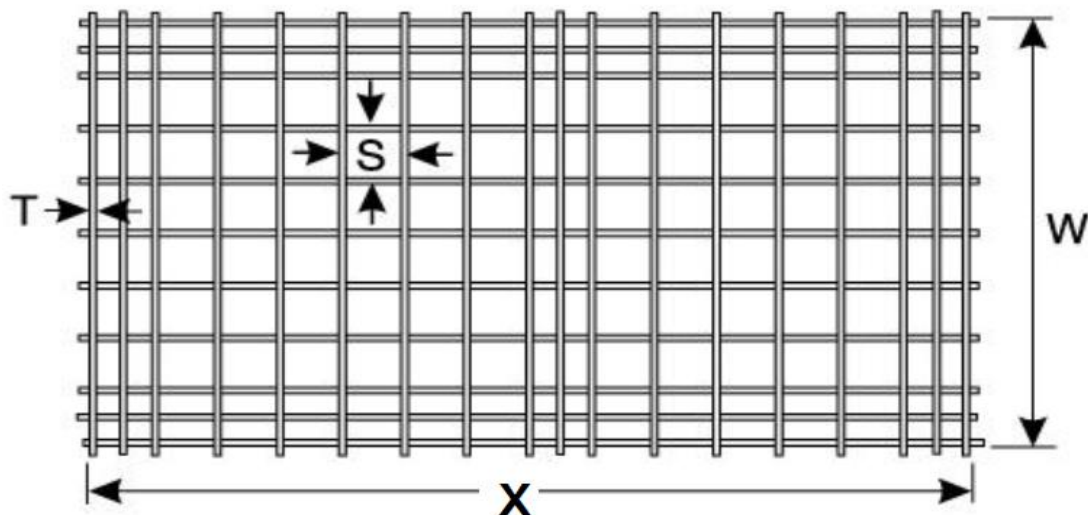


Fonte: Alves (2019)

Nesse sentido, a resistência à ruptura da tela está diretamente ligada ao diâmetro do fio, ao espaçamento entre os fios e ao tipo de aço utilizado em sua fabricação. Em adição, a tela eletrosoldada é um elemento que pode passar por um processo de galvanização, de modo a evitar a oxidação promovida pelo tempo, aumentando sua vida útil.

As telas são comercializadas no mercado com algumas características geométricas representado na Figura 6, e está disponível em várias formas como rolos ou painéis e tamanhos diversos, o espaçamento são em cm ou mm, já o diâmetro do fio em mm, altura e comprimento são em metros.

Figura 6: Características de uma tela metálica oferecida no mercado
 T = diâmetro do fio; S = espaçamento da malha; W = altura da tela; X = comprimento da tela.



Fonte: DSI Underground (2019)

2.3 TELA DE POLIÉSTER

A tela de poliéster apresentada na Figura 7, foi desenvolvida para aplicação na mineração, e devido as características de sua matéria-prima, não sofre oxidação – reação comum ao metal na lavra subterrânea, tornando-se resistente à corrosão é uma solução para o prolongamento da vida útil desse produto (ALVES, 2019).

Figura 7: Tela de poliéster



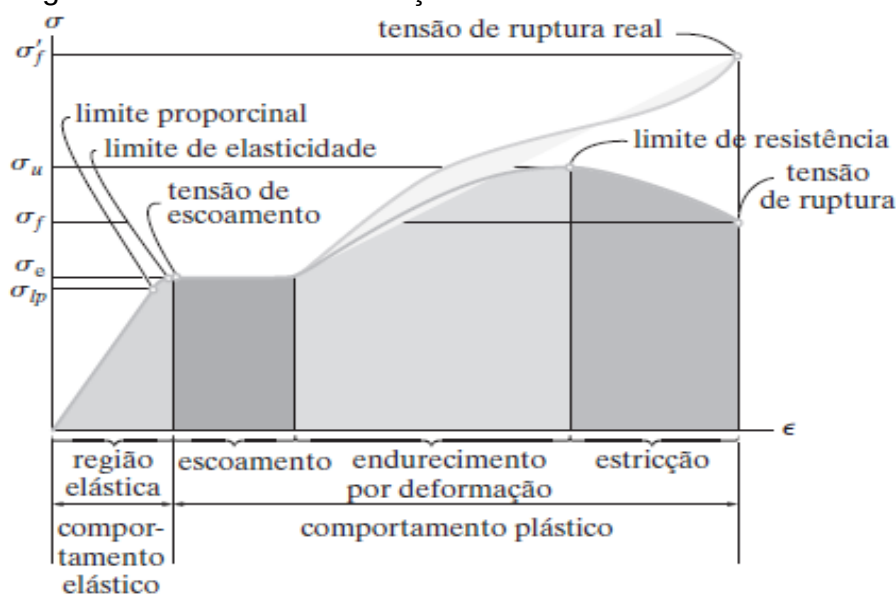
Fonte: Wilson Mining (2021)

A tela de poliéster tem ainda outras vantagens: por ser mais leve, torna mais fácil seu manuseio e mais rápida sua instalação; por ser não condutiva, pode ser instalada próxima a partes elétricas; por ser funcional, adapta-se melhor a irregularidades da mina do que a tela metálica; por dobrar com facilidade, beneficia seu transporte e reduz o risco de causar ferimentos aos trabalhadores. Além disso, é fabricada em diferentes tamanhos, possibilitando soluções para uma ampla variedade de trabalhos.

2.4 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS

A Figura 8, apresenta o diagrama obtido pelo ensaio de tensão – deformação.

Figura 8: Diagrama da tensão-deformação convencional e real de um material dúctil



Fonte: Hibbeler (2004, p. 64)

Hibbeler (2004) caracteriza tensão como uma medida de intensidade das forças internas agindo entre as partículas de uma seção transversal imaginária de um corpo de material deformável. A força normal perpendicularmente à área é criada sempre que as forças externas tendem a empurrar ou puxar um corpo. Assim, quando uma força é aplicada a um corpo, este tende a mudar sua forma e seu tamanho, igualmente, quando é exposto à determinada temperatura, o corpo tende a contrair ou expandir sua forma. À essas reações dá-se o nome de deformação (HIBBELER, 2004).

O principal objetivo deste estudo é avaliar o comportamento dos materiais, ou seja, a resistência mecânica à tração de telas metálica e de poliéster, bem como sua deformação até o momento de ruptura, para sua aplicação na atividade de mineração subterrânea de carvão. Por meio de ensaios de tração em laboratórios, é possível obter o diagrama de tensão-deformação de um material, gerando dados sobre deformação, tensão, tipo de material se dúctil ou frágil, comportamento elástico e plástico e ponto de ruptura, através das equações da tensão nominal (1) e deformação nominal (2).

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

Onde:

σ = Tensão (Pa);

F = Força (N);

A = Área (m²);

$$\epsilon = \delta / L_0 \quad (2)$$

Onde:

ϵ = Deformação (m);

δ = Alongamento (m);

L_0 = Comprimento original do corpo de prova (m);

Nesse processo, a relação proporcional entre tensão-deformação de um corpo pode ser obtida pelo Módulo de Elasticidade, ou Módulo de Young, quando o material retorna a sua forma de origem. Nessa etapa, aplica-se a lei de Hooke, apresentada pela equação (3):

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3)$$

Onde:

σ = Tensão (Pa);

E = Módulo de Elasticidade (Módulo de Young MPa);

ϵ = Deformação (m);

2.4.1 Ruptura do material

Os materiais em estudo são classificados como dúcteis ou frágeis, dependendo de suas características de tensão-deformação. Os materiais dúcteis sofrem grandes deformações antes de sua ruptura. Esse é o mais utilizado em razão de sua capacidade de absorver choque ou energia e de sofrer grande deformação antes de falhar quando sobrecarregado (HIBBELER, 2004). Por sua vez, os materiais frágeis apresentam pouco ou nem um escoamento e não têm tensão de ruptura à tração bem definida, como resultado desse tipo de falha, uma vez que a aparência das trincas iniciais em um corpo de prova é aleatória (HIBBELER, 2004).

2.4.2 Aplicação do material

De modo geral, as telas são instaladas juntamente com chapas de aço, que são restringidas por tirantes resinados, e devem ficar bem justas ao teto. Ressalta-se que o peso da tela impacta as condições de sua instalação, se mais fácil e rápida ou não, sendo geralmente necessário no mínimo dois operadores para essa tarefa. Observa-se, ainda, que os tempos de ciclos de instalação das telas variam de mina para mina. Ressalta-se que as telas devem sempre estar armazenadas em locais livres de água, umidade, blocos de rochas e de fácil acesso ao operador. Além disso, recomenda-se a utilização de telas com pequenas folhas, que não tenham fios saindo de suas bordas, para evitar ferimentos, e que nem uma parte da tela se estenda além da última fileira de parafuso (NIOSH, 2005).

2.5 NORMAS

A mineração subterrânea é uma atividade que requer grande investimento e inúmeros cuidados. Nesse sentido, a NR-22 é um documento importante a ser considerado na prática da mineração, seja em operações em lavra subterrânea, seja a céu aberto, seja em garimpos (MARTINS, 2017), pois:

Segundo legislação NR-22 (BRASIL, 1999)

[...] tem por objetivo disciplinar os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores.

Não há na NR-22 item específico sobre telas, mas a Norma Reguladora de Mineração (NRM) 5, sobre sistemas de suporte e tratamentos, estabelece como devem ser tratadas as aberturas subterrâneas segundo suas características hidro-geo-mecânicas e finalidades a que se destinam. Essa norma visa a garantir a segurança dos trabalhos no subsolo (MARTINS, 2017).

2.6 ACIDENTES

Os operários das minas de carvão, especialmente os que atuam com escoramento de teto, trabalham em ambiente perigoso e estão frequentemente expostos á quedas de rochas e á más condições dos tetos. Nesse cenário, a blindagem do teto com tela, seja metálica ou de poliéster, tem se mostrado um método eficaz para melhorar a segurança do ambiente. Como consequência dessa medida, as minas de carvão registram cada vez menos ferimentos em mineiros com lesões causadas por quedas de rochas.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAIS

3.1 MÉTODO DOS ENSAIOS

Os ensaios se basearam no trabalho feito por Dolinar (2009), em parceria com National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), agência federal dos EUA responsável por pesquisas e recomendações para prevenir acidentes de trabalho. A Figura 9 ilustra a bancada usada por Dolinar.

Figura 9: Banda de ensaio utilizada por Dolinar



Fonte: Dolinar (2009)

Os ensaios deste presente estudo aconteceram no laboratório do curso de Eng. de minas do centro universitário UniSATC. Os testes foram realizados em uma banca construída pela Carbonífera Metropolitana S/A, como pode ser visto na Figura 10 com as dimensões de 1,50 x 1,20m, onde foi fixado um cilindro hidráulico ao centro.

Figura 10: Banca de carga

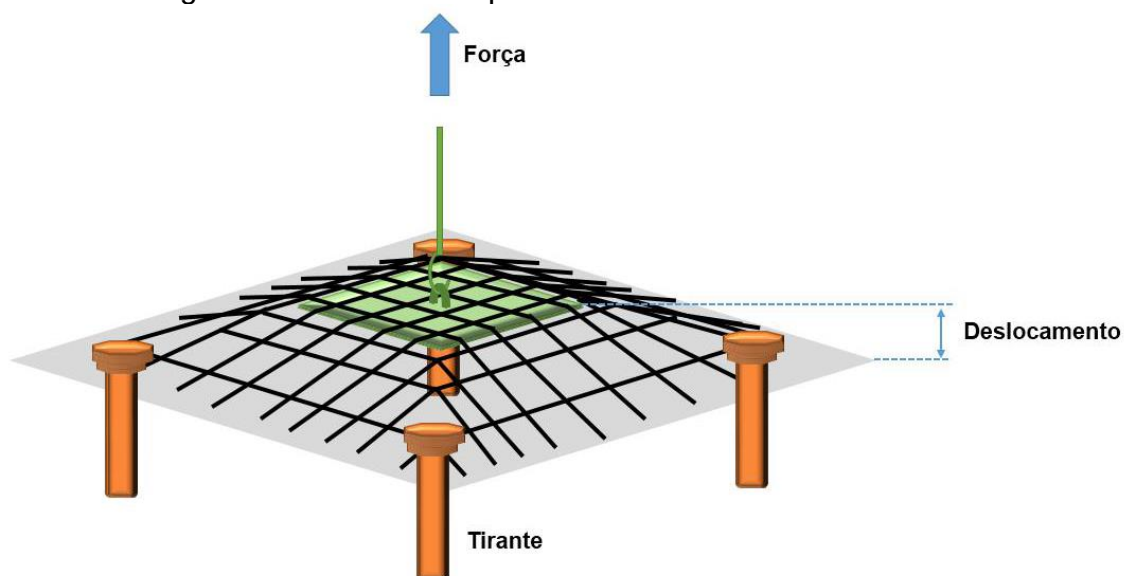


Fonte: Do autor (2021)

As telas foram fixadas nas extremidades por quatro tirantes e quatro chapas metálicas de 220 x 220mm que foram usadas com o objetivo de simular o teto da mina. Quatro chapas de 120 x 120mm foram utilizadas para prender as telas através das porcas dos tirantes.

Além disso utilizou-se uma chapa metálica de 500 x 500mm, na área central da tela, com o objetivo de proporcionar uma maior distribuição da carga exercida pelo cilindro a tela. Uma força foi exercida, no sentido vertical, ascendente, até o momento total da ruptura, como pode ser visto na imagem 11.

Figura 11: Desenho esquemático do deslocamento da tela



Fonte: Do autor (2021)

A chapa metálica central se movimentou através de um cilindro hidráulico que por mesmo foi acionado por uma central hidráulica. O deslocamento da tela foi medido por uma trena fita de aço apoiando na mesa, e na bomba hidráulica um manômetro fez a leitura da pressão. No final coletou-se os dados das cargas aplicadas e os deslocamentos sofridos pelas telas.

Ao total realizou-se quatro ensaios, um sendo para cada tipo de tela. Os ensaios seguiram os mesmos padrões de execução sendo alterado apenas as telas analisadas.

3.2 TELAS ANALISADAS

Para a realização dos estudos foram testados quatro tipos de telas. A tabela 1 mostra as telas e suas especificações.

Tabela 1: Diâmetro e espaçamento entre os fios

Telas	Diâmetro dos fios (mm)	Espaçamento entre os fios(mm)
Eletrosoldada galvanizada	2,3	150x50
Eletrosoldada não galvanizada	4,3	100x100
Poliéster	10 mm (Espessura da fita)	70x55
Trançada galvanizada hexagonal	2,1	50x50

Fonte: Do autor (2021)

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados durante os ensaios foram: uma banca de carga ilustrada na Figura 9, quatro tirantes metálicos de diâmetro $\frac{3}{4}$ ", quatro chapas metálicas 220 x 220mm com espessura de 150mm, quatro chapas metálicas de 120 x 120mm com espessura de $\frac{3}{8}$ ", uma peça metálica em forma de X de dimensões 500 x 500mm, cilindro hidráulico, central hidráulica com capacidade de 70 litros de óleo, trena, manômetro marca Genebre. As Figuras 12,13,14,15, mostram alguns dos materiais utilizados.

Figura 12: peça em forma de X
500x500mm



Fonte: Do autor (2021)

Figura 13: chapa metálica
220x220mm



Fonte: Do autor (2021)

Figura 14: chapa metálica 120x120mm



Fonte: Do autor (2021)

Figura 15: central hidráulica



Fonte: Do autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COLETA DE DADOS – MINA FONTANELLA

Inicialmente a coleta de dados constitui basicamente em caminhamentos pelas galerias de transporte, acesso de pessoal e locais telados, para verificar a existência de chocos da mina e assim caracterizá-los quanto a sua geometria como podemos ver na Figura 17, e estimar assim o volume e o peso dos fragmentos de rochas através do peso específico assim para o arenito laminado que é (2,5 t/m³), desta forma verificar qual o peso real que as telas estavam submetidas no subsolo. No total identificou-se 19 pontos de coletas ao longo do trajeto. Todos esses pontos foram catalogados os dados são apresentados resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2: Resumo dos dados coletados sobre fragmentos de rocha, que se desprenderam do teto.

Eixo	Galeria	Travessa	Comprimento	Largura	Altura	Volume Estimado	Carga Estimada
			(m)	(m)	(m)	(m ³)	(Kg)
5 NW	4	1/2	1,3	0,67	0,05	0,043	107,5
6 NW	4	11	1,14	0,53	0,02	0,012	30
6 NW	4	11	0,38	0,39	0,05	0,007	17,5
8 NW	5/4	6	0,72	0,29	0,05	0,01	25
8 NW	4	6/7	0,54	0,2	0,01	0,001	2,5
8 NW	4	6/7	1,2	0,87	0,01	0,01	25
8 NW	4	6/7	0,47	0,43	0,07	0,014	35
8 NW	4	6/7	0,81	0,54	0,04	0,017	42,5
8 NW	4	23	0,7	0,43	0,03	0,009	22,5
8 NW	4	23/24	0,38	0,28	0,02	0,002	5
11 NW	4	11/12	0,8	0,35	0,06	0,016	42
11 NW	4	29/30	0,94	0,39	0,05	0,018	45
11 NW	4	32/33	0,23	0,14	0,05	0,001	4
13 NE	3/4	34	0,63	0,47	0,05	0,014	37
13 NW	5	00	0,62	0,5	0,04	0,012	31
13 NW	5	00	0,38	0,25	0,05	0,004	1,1
13 NW	5	0	0,54	0,38	0,03	0,006	15,3
13 NW	5	15/16	0,51	0,31	0,1	0,015	39,5
13 NW	5	17/18	0,58	0,47	0,09	0,024	61,3

Fonte: Do autor (2021)

Os dados aleatoriamente coletados ao longo de todo o trajeto da mina são mostrados na tabela 3. Na teoria o choco seria fragmento de rocha que não ficou compreendido dentro do sistema de escoramento, ou seja, ele não está sob influência da pressão exercida pelos tirantes, Segundo Molinda (2002) esse tipo de queda de rocha não se estenda por mais de 0,3 m de espessura do teto imediato, para estimar de forma teórica qual seria o maior fragmento de rocha que poderia se desprender vamos considerar o maior vão entre os tirantes do plano de escoramento de teto da mina fontanela Figura 16. O vão máximo teria um formato de losango com uma área de 0,97 m². A tabela 3 apresenta o peso calculado do maior fragmento que presumindo poderia se desprender em função da maior espessura. Os dados estatísticos apresentaram alto índice de dispersão, o que significa que os dados variam muito.

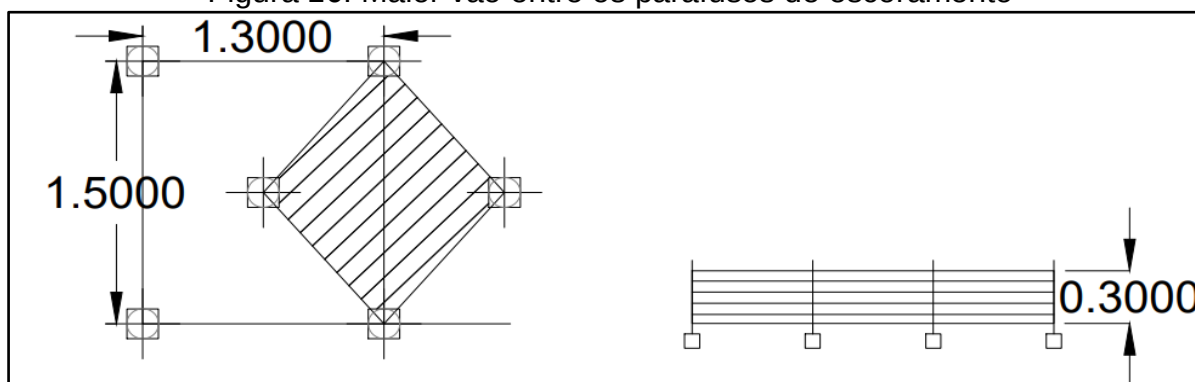
Tabela 3: Resumo dos dados estatísticos.

Dado estatístico	valor
Maior fragmento de rocha	107,5 kg
Menor fragmento de rocha	1,1 kg
Média	30,98 kg
Peso do bloco do maior vão	727,5kg
Desvio padrão	24,09 Kg
Coeficiente de variação	77,80%

Fonte: Do autor (2021)

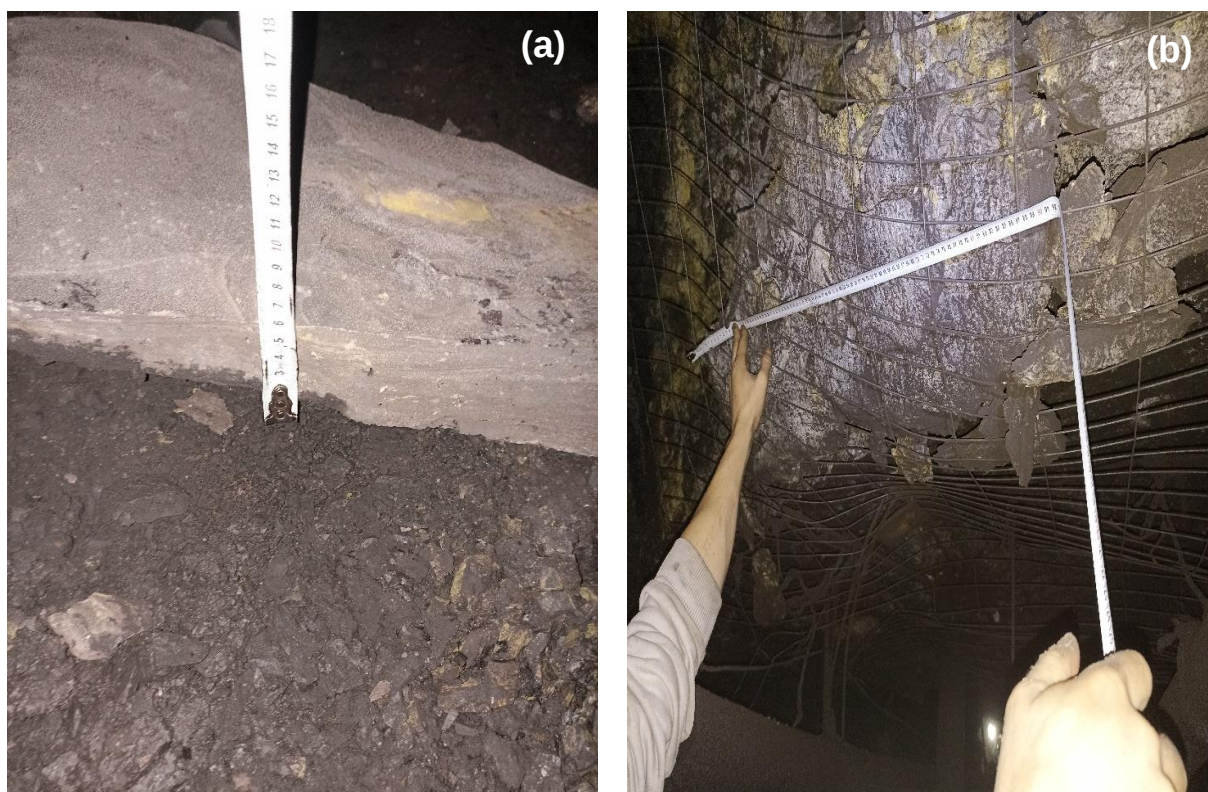
Atualmente na Mina Fontanella são utilizados dois tipos de telas: Tela galvanizada eletrosoldada de malha 150 x 50 mm e espessura de fio de 2,3 mm e tela eletrosoldada não galvanizada de malha 100 x 100 mm e espessura de fio de 4,3mm.

Figura 16: Maior vão entre os parafusos de escoramento



Fonte: Do autor (2021)

Figura 17: Fragmento de rocha. (a) Espessura da rocha. (b) Comprimento da rocha.



Fonte: Do autor (2021)

4.2 TELA ELETROSOLDADA GALVANIZADA

A ruptura da tela eletrosoldada galvanizada ocorreu no fio, na zona de solda Figura 18. Devido ao processo de soldagem torna essa região um ponto de fraqueza por sua alta temperatura, também pode se observar que a ruptura ocorreu nos locais de contato entre a tela e a chapa Figura 18, isso se deve a transferência de carga ao longo dos fios no sentido da placa de carga até os tirantes. Não ocorreu nem um tipo de ruptura da tela em contato com a placa de carga.

Ao longo do teste verificou-se que a tela sofreu escorregamento no contato com as chapas devido sua superfície ser lisa, que resulta em uma perda de carga e um aumento no deslocamento, assim podendo influenciar nos resultados de sua real eficiência e o curso do cilindro hidráulico se apresentou limitado, a um certo avançamento. Este tipo de tela apresenta uma alta resistência residual após a ruptura do primeiro fio sendo que os maiores picos se apresentariam após essa fase. Esses fatores influenciaram diretamente nos resultados reais dos ensaios.

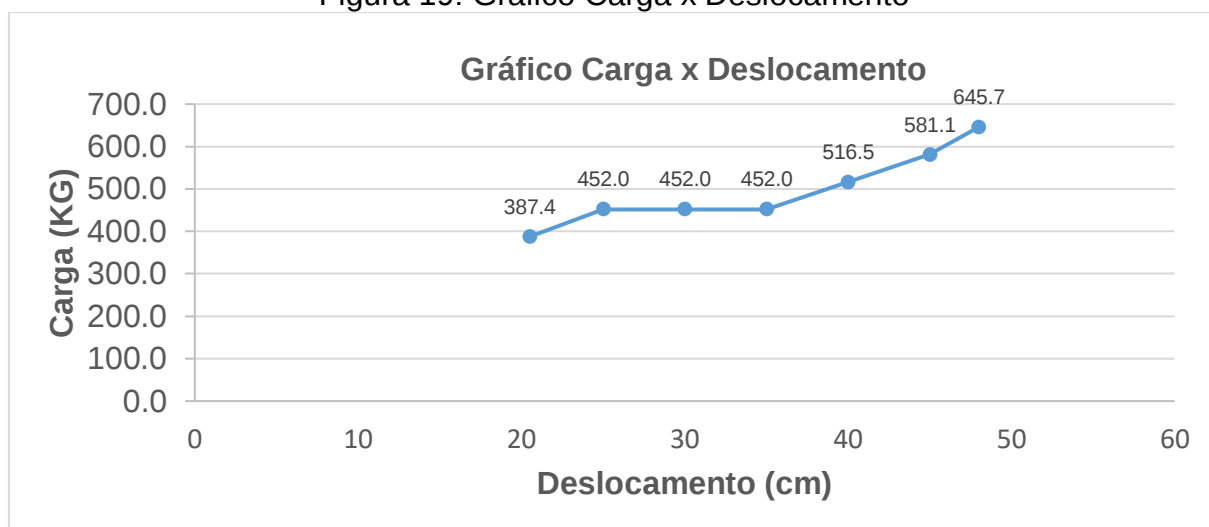
A tela sofreu toda a deformação que o cilindro avançou e suportou uma carga intermediária, a tensão de ruptura ocorreu em 645,7 kg, ou seja, o corpo de prova quebra rompendo-se o primeiro fio.

Figura 18: (a) Ruptura na tela eletrosoldada galvanizada, (b) Tela em contato com chapa de aço.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 19: Gráfico Carga x Deslocamento



Fonte: Do autor (2021)

A Figura 19 mostra os valores das cargas e deslocamentos coletados ao longo do ensaio, fica visível que a tela sofreu um escorregamento em 452 kg fazendo com que a carga se mantenha constante e não se obteve uma carga de pico que levaria a uma queda de pressão. O teste de carregamento indicou que a capacidade de carga da tela onde parou foi de 645,7 Kg, mostrado na tabela 4.

As cargas foram obtidas indiretamente pelo produto entre a pressão em Pa pela área do embolo do cilindro em m², resultando na carga em N.

Tabela 4:Tabela de cálculos

Deslocamento	Pressão	Pressão	Força	Peso
(cm)	(Bar)	(Pa)	(N)	(kg)
20,5	12	1200000	3800,4	387,4
25	14	1400000	4433,8	452,0
30	14	1400000	4433,8	452,0
35	14	1400000	4433,8	452,0
40	16	1600000	5067,2	516,5
45	18	1800000	5700,6	581,1
48	20	2000000	6334	645,7

Fonte: Do autor (2021)

4.3 TELA TRANÇADA GALVANIZADA HEXAGONAL

Diferente das telas soldadas as telas trançadas são muito maleáveis pode receber um alto impacto sem ter o risco de romper, tem uma alta capacidade de deformação como podemos ver na Figura 20, por não ser soldada.

A Figura 21 mostra os dados coletados no ensaio, a tela não chegou a romper devido ao curso do cilindro hidráulico, em 581,1 Kg percebeu que os fios começaram a sofrer uma deformação, mas não chegou à ruptura se comportando de forma elástica, removendo a pressão no corpo de prova ele volta ao seu formato original.

A pressão não aumentou devido a esse comportamento que resulta em uma perda de pressão. Neste caso até com o aumento do torque nos parafusos que evitaria o escorregamento da tela não iria influenciar, a mesma tela iria sofrer ainda mais deformação. Para esse tipo de tela os cálculos indicaram que a capacidade de carga foi de 581,1 kg, mostrado na tabela 5.

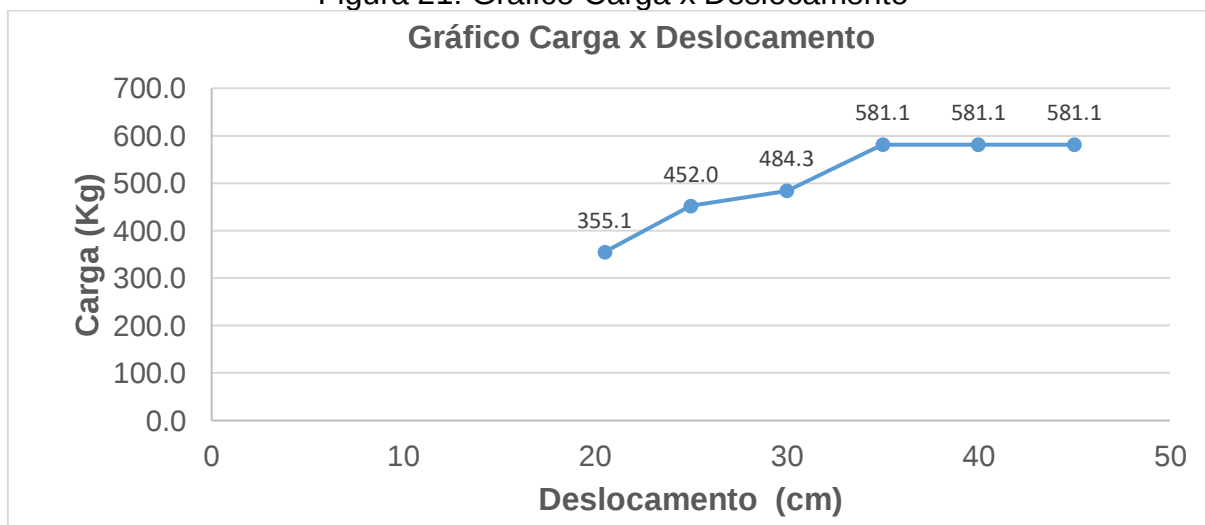
Figura 20: Fios deformando com a aplicação da carga.



Fonte: Do autor (2021)

Esse valor pode ser maior, como podemos ver no gráfico não chegou a um carregamento de pico que levaria a sua ruptura.

Figura 21: Gráfico Carga x Deslocamento



Fonte: Do autor (2021)

Tabela 5: Tabela de cálculos

Deslocamento	Pressão	Pressão	Força	Peso
(cm)	(Bar)	(Pa)	(N)	(Kg)
20,5	11	1100000	3483,7	355,1
25	14	1400000	4433,8	452,0
30	15	1500000	4750,5	484,3
35	18	1800000	5700,6	581,1
40	18	1800000	5700,6	581,1
45	18	1800000	5700,6	581,1

Fonte: Do autor (2021)

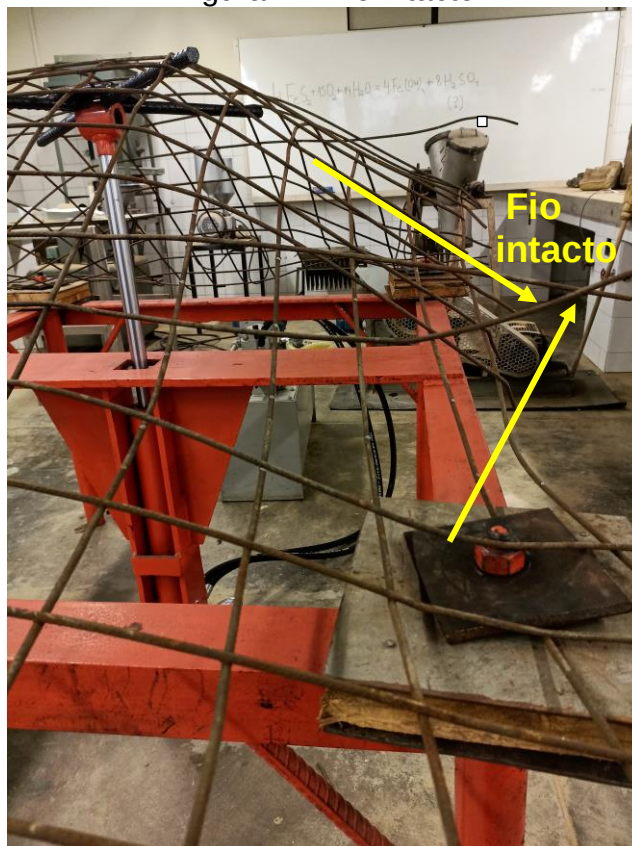
4.4 TELA ELETROSOLDADA NÃO GALVANIZADA

Diferente da tela eletrosoldada galvanizada, na eletrosoldada não galvanizada ocorreu a ruptura na solda, mantendo os fios intactos como pode ser analisado na Figura 22, isto se dá por uma baixa resistência na solda. Notou-se uma maior capacidade de carga entre todos as telas testadas, para o mesmo deslocamento. Quando a pressão atingiu 645,7 Kg ocorreu a primeira ruptura e segunda ruptura em 710,2 Kg. Percebeu-se que mesmo com uma baixa pressão, comparando com a pressão máxima, os fios começaram a se romper. Este precoce problema se dá pelo tipo de solda. Este fenômeno indica um comportamento mais rígido e mesmo com uma pressão maior apresenta uma menor deformação.

A Figura 23 apresenta os valores encontrados durante o ensaio. Na primeira fase do ensaio ocorreram deformações de 15 a 25 cm sem aumento de carga. Isso indica que a tela escorreu na chapa consequentemente não criando nenhuma resistência.

Por ser mais rígida pode se ver que chegou a uma carga de pico, ou seja, atingiu a tensão de ruptura e em seguida ocorreu uma queda de pressão. Os cálculos indicaram uma capacidade de carga média de 903,9 kg, como podemos ver na Tabela 6.

Figura 22: Fio intacto



Fonte: Do autor (2021)

Figura 23: Gráfico Carga x Deslocamento



Fonte: Do autor (2021)

Tabela 6: Tabela de cálculos

Deslocamento	Pressão	Pressão	Força	Peso
(cm)	(Bar)	(Pa)	(N)	(Kg)
12,5	16	1600000	5067,2	516,5
15	18	1800000	5700,6	581,1

20	18	1800000	5700,6	581,1
25	18	1800000	5700,6	581,1
27	20	2000000	6334	645,7
29,5	20	2000000	6334	645,7
35	22	2200000	6967,4	710,2
37	28	2800000	8867,6	903,9
40	26	2600000	8234,2	839,4
45	22	2200000	6967,4	710,2

Fonte: Do autor (2021)

4.5 TELA POLIÉSTER

As rupturas na tela de poliéster aconteceram nas regiões em contato com as chapas. A Figura 24 mostra a ruptura que aconteceu devido ao atrito entre a chapa e a tela. Foi notado que por ela ser pouco espessa deslizou pela chapa de apoio e demonstrou um comportamento residual o que significa que com a mínima carga aplicada ela se deslocava facilmente.

Figura 24:(a), (b) Ruptura entre a tela e a chapa metálica.

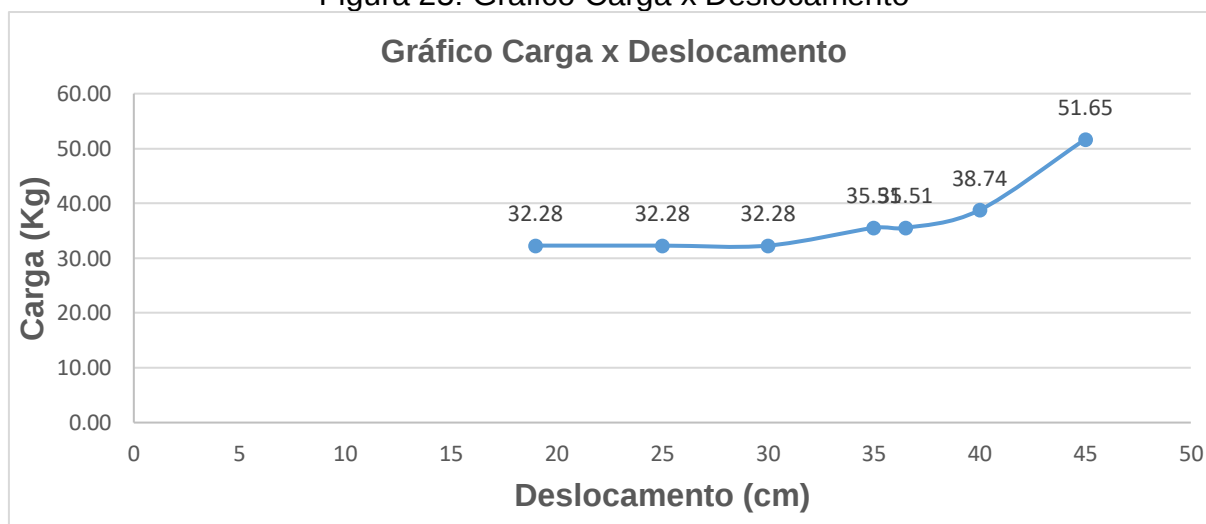


Fonte: Do autor (2021)

A Figura 25, dá uma boa ideia do comportamento da tela quando é submetida a uma pressão, após tensionada em 32,28 Kg sofreu escorregamento assim deslocando a mesma e com consequência a pressão não se alterou. Em 35,51 Kg novamente sofreu outro escorregamento mantendo a carga. Quando a carga chegou em 38,74 Kg obteve o primeiro rompimento, e em 51,65 Kg rompeu em mais pontos.

A tela de poliéster obteve o menor resultado de pressão encontrado o deslocamento foi o mesmo dos anteriores, os cálculos mostrados na Tabela 6 indica que os cálculos se obtiveram uma carga de 51,65 Kg.

Figura 25: Gráfico Carga x Deslocamento



Fonte: Do autor (2021)

Tabela 6: Tabela de cálculos

Deslocamento (cm)	Pressão (Bar)	Pressão (Pa)	Força (N)	Peso (Kg)
19	10	100000	316,7	32,28
25	10	100000	316,7	32,28
30	10	100000	316,7	32,28
35	11	110000	348,37	35,51
36,5	11	110000	348,37	35,51
40	12	120000	380,04	38,74
45	16	160000	506,72	51,65

Fonte: Do autor (2021)

5 CONCLUSÕES

Para este estudo, o arranjo dos testes foi projetado para avaliar o desempenho das telas em uma configuração similar à utilizada na mina Fontanella. Como resultado, as telas foram colocadas em uma configuração retangular com quatro extremidades presas por tirantes e chapas quadradas metálicas. O carregamento foi aplicado nas telas através de uma peça em X metálica central com dimensões de 500 x 500 mm.

A tela eletrosoldada galvanizada obteve o segundo maior valor para o carregamento máximo, antes do primeiro fio se romper. A tela trançada galvanizada hexagonal obteve o terceiro maior valor de carga. Já a tela eletrosoldada não galvanizada teve o maior carregamento dos testes e a de poliéster o menor resultado, pois percebeu-se que este tipo de tela em contato com alguma superfície ponte aguda, ou algum contato por cisalhamento pode sofrer algum tipo de corte, tornando um ponto de fraqueza, naquela região desta forma perdendo a sua real resistência. O deslocamento foi igual para todos, limitado ao curso do cilindro hidráulico.

Para esses estudos os fatores que alteraram o desempenho das telas são: o torque nos parafusos pois não foi utilizado um torquímetro para uma tensão mais uniforme das telas nas chapas evitando o deslizamento; o curso do cilindro também estava limitado não se passou de 45 cm. Outra melhoria seria um manômetro digital para se obter dados mais precisos; repetir o teste das telas mais de uma vez para assegurar repetibilidade e resultados.

Os testes partiram após as telas estarem tensionadas por este motivo os gráficos não iniciam em zero.

Considerando os dados levantados pelo mapeamento de fragmentos de rochas (chocos), o tratamento estatístico e as discussões com auxílio das fundamentações teóricas, conclui-se que os fragmentos mapeados possuem peso estimado mínimo de 1,1 Kg e máximo de 107,5 Kg, indicando que as telas já utilizadas na Mina Fontanella podem atender a demanda de carga e também ocorre a opção de usar a tela trançada galvanizada que obteve uma resistência a carga considerável, desta maneira podendo ser mais uma opção de utilização na mina para suportar os fragmentos de rocha do tipo encontrado no mapeamento. Já a tela de poliéster,

baseando nos ensaios não é indicada para este tipo de trabalho pois apresentou baixa resistência, pois a mesma cortou nas chapas.

REFERÊNCIAS

Advanced mining **Solutions**. [2000]. Disponível em: <https://www.advanced-mining.com/archiv.php>. Acesso em: 12 Dez. 2021.

ALMEIDA, Joao Henrique Guidete de. **Sistemas de suporte de superfície**. 2021. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/sistemas-de-suporte-superf%25C3%25ADcie-jo%25C3%25A3o-henrique-guidete-de-almeida/?trackingId=j7wX9wChQoyWaxfv1oWgyw%3D%3D>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ALVES, Marcelo Henrique Lopes. **Análise comparativa de telas metálicas e não metálicas utilizadas na mineração subterrânea**. 2019. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1960/1/MONOGRAFIA_An%c3%a1liseComparativaTelas.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.

ANDRADE, Marcelo Seggiaro. **Análise de rupturas de teto imediato nos cruzamentos entre galerias de uma mina subterrânea de carvão**. 2019. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/193373/001092075.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria do Trabalho. **NR-22: segurança e saúde ocupacional na mineração**. 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-22.pdf/view>. Acesso em: 5 abr. 2021.

CAYE, Bráulio Robério *et al.* **Projeto de Carvão no Pré-Barro Branco**. 1975. Porto Alegre: CPRM. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/8826>. Acesso em: 26 abr. 2021.

DSI UNDERGROUND. **Sistemas de Mineração: tela eletrosoldada**. [2019]. Disponível em: <https://www.dsiunderground.com.br/produtos/sistemas-de-mineracao/telas/tela-eletrosoldada>. Acesso em: 20 abr. 2021.

DOLINAR, D.R. **Performance characteristics for welded wire screen used for surface control in underground coal mines**. The National Institute for

Occupational Safety and Health. Pittsburgh. 2009. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/pcfww.pdf>. Acesso em: 25 abr. de 2021.

FARMER, I. Room and Pillar mining. In: HARTMAN, H.L. (ed). SME Mining Engineering Handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton: Colorado, 2nd ed. 1992, p. 1681 – 1699.

HIBBELER, Russell. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education, 2004.

MARTINS, Carla Ferreira Vieira. **Avaliação das normas reguladoras de mineração para minas subterrâneas no Brasil e da legislação mineral brasileira para segurança em subsolo**. 2017. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/7264/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oNormasReguladoras.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021.

MATOSO, Gabriela Pastorini. **Fator de segurança em realces através da comparação entre método empírico e análise numérica**. 2016. 58 f. trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Engenharia de Minas, Centro Federal de educação tecnológica de Minas Gerais unidade Araxá, Araxá, 2016. Disponível em : https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Gabriela_Pastorini_Matoso.pdf. Acesso em: 3 Dez. 2021.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Make it safer with roof screen**. 2005. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/products/videos/miswrs/miswrs.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SOUSA, Luís Eduardo de. **Estimativa de incertezas e sua aplicação na classificação de recursos minerais**. 2002. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/77812/000318220.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 abr. 2021.

WEISS, Anderson Luis. **Incorporação de dados geomecânicos em projetos de suporte de teto em mina subterrânea de carvão**. 2003. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2838/000377025.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 abr. 2021.

WILSON MINING. **Stratanet**. [2021]. Disponível em:
<https://www.wilsonmining.com.au/new-products/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ZINGANO, André Cezar. **Modelamento geomecânico para o dimensionamento de pilares de carvão**. 2002. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1978/000362608.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 abr. 2021.