



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE VÁRZEA GRANDE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

THALISSON VIEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATIRANTAMENTO
MECÂNIZADO, ATRAVÉS DE *CHECK-LIST* EM UMA MINA
SUBTERRÂNEA EM PEIXOTO DE AZEVEDO - MT.**

CUIABÁ - MT

2022

THALISSON VIEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATIRANTAMENTO
MECÂNZIZADO, ATRAVÉS DE *CHECK-LIST* EM UMA MINA
SUBTERRÂNEA EM PEIXOTO DE AZEVEDO - MT.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Minas da
Universidade Federal de Mato Grosso como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Luis Henrique Nery Januario

CUIABÁ - MT

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V658a Vieira, Thalisson.
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATIRANTAMENTO MECÂNIZADO, ATRAVÉS DE CHECK-LIST EM UMA MINA SUBTERRÂNEA EM PEIXOTO DE AZEVEDO - MT. [recurso eletrônico] / Thalisson Vieira. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 69 f., il. color., pdf). - 2022.

Orientador: Luis Henrique Nery Januario.
TCC (graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Engenharia, Várzea Grande, 2022.
Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

1. atirantamento. 2. tirante. 3. resina. 4. check list. 5. cartuchos de resina. I. Januario, Luis Henrique Nery, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

Catalogação: ufmt.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, por ter me colocado no curso de Engenharia de Minas, profissão a qual eu nasci para exercer e farei com muito orgulho.

Agradeço à minha mãe, Maria Aparecida, por ter sonhado e realizado comigo a concretização deste curso. Por todo apoio, amor, confiança, e ensinamentos dado a mim.

Agradeço aos meus irmão, Talita e Tayllon e a minha afilhada Emanoela pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus amigos, que fiz ao longo do curso por estarem ao meu lado desde o início da graduação, apoiando, compreendendo e ajudando em todos os momentos que precisei.

À instituição – FAENG, juntamente, com a UFMT e demais instituição de ensino, que me proporcionaram a oportunidade de possuir um ensino superior e a expansão dos meus horizontes.

A todos meus professores, pela paciência, dedicação e o respeito.

Ao meu orientador, Luiz Henrique Nery Januario, por me acompanhar desde o início, pelas orientações neste trabalho.

Ao meu coorientador, Rafael e Thomas pela oportunidade de desenvolver com ele o meu trabalho de conclusão de curso e por não medir esforços na confecção do mesmo.

Por fim, agradeço a P.A. Gold Mineração e Metalurgia S/A, pelo apoio neste trabalho, e também, pela confiança e oportunidades dadas a mim.

RESUMO

Buscando sempre a melhoria contínua da estabilização do maciço rochoso em escavações subterrâneas, decidiu-se criar um *check list* para monitorar a atividade de atirantamento mecanizado com uso de cartuchos longos de resina, numa mineração subterrânea localizada no município de Peixoto de Azevedo, no estado de Mato Grosso, pertencente à empresa P.A. GOLD Mineração e Metalurgia S/A. Por ser uma atividade muito complexa e suscetível a erros, surgiu a necessidade de elaborar uma lista das principais operações padrões, contendo os parâmetros técnicos de referência no âmbito das variáveis controláveis da atividade, e depois compará-la com a operação em campo. Com isto, posteriormente, foi possível mensurar o grau de sucesso das operações e também propor algumas soluções em curto prazo para as falhas encontradas. Foram realizados em campo o preenchimento de 19 *check list* durante as atividades de atirantamento, contabilizando 108 eventos de atirantamento mecanizados com o uso de resina sintética. Ressalta-se que em alguns tirantes instalados e acompanhados pelo *check list*, tiveram boa eficiência no teste de arranque, o que permite afirmar que a checagem das operações deve ser uma boa prática nas minerações e contribuir para a garantia da estabilidade e segurança nas escavações em minas subterrâneas.

Palavras-chave: atirantamento; tirante ; resina; *check list*; cartuchos de resina.

ABSTRACT

Always looking for the continuous improvement of rock mass stabilization in underground excavations, it was decided to create a checklist to monitor the activity of mechanized bolting using long resin cartridges, in an underground mining located in the municipality of Peixoto de Azevedo, in the state of Mato Grosso, belonging to the company P.A. GOLD Mineração e Metalurgia S/A. Because it is a very complex activity and susceptible to errors, the need arose to draw up a list of the main standard operations, containing the technical reference parameters within the controllable variables of the activity, and then compare it with the operation in the field. Therefore, it was later possible to measure the degree of success of the operations and to propose some short-term solutions for the failures found. Nineteen checklists were completed in the field during bolting activities, accounting for 108 mechanized bolting events using synthetic resin. It should be noted that in some bolts installed and accompanied by the check list, they had good efficiency in the start-up test, which allows us to state that the checking of operations should be a good practice in mining and contribute to guaranteeing stability and safety in excavations in underground mines.

Keywords: anchoring; tether; resin; check list; resin cartridges.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modos de tensão, integridade estrutural e ruptura de um maciço rochoso.	14
Figura 2 - Distribuição da tensão induzida no entorno de escavações. a) tensão vertical; b) tensão horizontal; c) campo de tensão na escavação.....	15
Figura 3- Delimitação de auto suporte, vinculado a largura da escavação e ao RMR.....	16
Figura 4 - Interação entre o maciço/suporte.....	18
Figura 5 – Fluxograma dos principais sistemas de ancoragem interna.....	19
Figura 6 – Parafuso de ancoragem mecânica pontual.....	20
Figura 7 – Componentes do parafuso de coquilha.....	21
Figura 8 - Componentes do parafuso de cunha.....	22
Figura 9 - Componentes do parafuso Split Set.....	23
Figura 10 - Componentes do parafuso de ancoragem de resina.....	25
Figura 11 - Representação esquemática de um <i>strand</i> ou Cordoalha.....	26
Figura 12 - Detalhamento da área de ruptura entre o tirante e a resina.....	30
Figura 13 - Área de interferência ocasionada pela chapa ao torquear o tirante.....	33
Figura 14 - Representação esquemática entre os componentes do sistema de suporte.....	34
Figura 15 - Esquemátização de falha no sistema de ancoragem por falta de preenchimento da coluna total.....	34
Figura 16 - Mapa de localização geográfica da Mina de Paraíba.....	35
Figura 17 - Tirante helicoidal e diâmetro nominal.....	36
Figura 18 - Itens que compõem um tirante.....	37
Figura 19 - Esquemátização da chapa do tirante.....	37
Figura 20 - Representação das dimensões dos cartuchos de resina Rock Support utilizados.....	38
Figura 21 - cartuchos de resina Rock Support.....	38
Figura 22 - Esquemátização dos componentes de resina.....	39
Figura 23 - Jumbo modelo tipo Boomer S2.....	40
Figura 24 - Chave de aplicação do tirante. a) Chave de aplicação do tirante aclopada na perfuratriz. b) Chave de aplicação de tirante realizando o torqueamento.....	41
Figura 25 - Tubo de resinamento.....	42
Figura 26 – Resinamento de furo para atirantamento. a) Resinamento Manual; b) Resinamento mecanizado.....	42
Figura 27 - Detalhe do comportamento dos manômetros durante teste de arrancamento (Pull test) – valores em Ton. a) Ruptura interface resina / rocha. b) Ruptura na interface tirante / resina.....	43

Figura 28 - Execução de um ensaio de arrancamento.....	44
Figura 29 - Variáveis controláveis e não controláveis durante a atividade de operação do atirantamento.	45
Figura 30 - Falhas de armazenamento da resina.	54
Figura 31 - Falhas na perfuração para a instalação do tirante.	57
Figura 32 - Falhas operacionais na fase de resinação.	58
Figura 33 - Falha no acoplamento do batedor no tirante.....	60
Figura 34 - Marcação da chapa do tirante por letra.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Preenchimento total do espaço anular.....	31
Tabela 2 - Preenchimento do espaço anular corrigido	32
Tabela 3 - Especificações da chapa.....	38
Tabela 4 - Variáveis controláveis na atividade de atirantamento e seus níveis de criticidade.....	46
Tabela 5 - Check list para controle de qualidade operacional.....	47
Tabela 6 - Resumo das falhas observadas.....	53
Tabela 7 - Resumo de falhas observadas no armazenamento.	54
Tabela 8 - Resumo de falhas observadas na perfuração.....	56
Tabela 9 - Resumo de falhas observadas no resinamento.....	58
Tabela 10 - Resumo de falhas observadas na instalação do tirante.	59
Tabela 11 - Resultados dos teste de arranque na Mina Paraíba.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resumo das falhas	51
Gráfico 2 - Distribuição das falhas no atirantamento.....	52
Gráfico 3 - Estratificação por área – Armazenamento.....	54
Gráfico 4 - Estratificação por área - Perfuração.....	56
Gráfico 5 - Estratificação por área - Resinamento	57
Gráfico 6 - Estratificação por área - Instalação do Tirante	59
Gráfico 7 - Resumo de inconformidade de ensaios de arrancamento em tirantes.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	REVISÃO DA LITERATURA	14
4.1	Escavações Subterrâneas	14
4.2	Definição de Suporte e Reforço	16
4.2.1	Suporte.....	17
4.3	Sistemas de Ancoragens	18
4.4	Ancoragem Mecânicas	19
4.4.1	Ancoragem Mecânicas Pontuais	19
4.4.2	Parafuso de Coquilhas (Expansion Shell Bolt)	20
4.4.3	Parafuso de Cunha (Slot And Wedge Bolt).....	21
4.4.4	Ancoragens Mecânicas em Coluna Total (por Fricção).....	22
4.4.5	Parafuso Split Set (Cavilhas de Atrito ou Estabilizadores).....	23
4.5	Ancoragem Química	24
4.5.2	Parafuso com Resina	24
4.6	Cabos (Cable Bolt)	25
5	TESTE DE ARRANCAMENTO (PULL OUT TEST)	27
6	TIRANTES	28
7	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	29
7.1	Parâmetros Relevantes e Críticos que Influenciam na Performance de Atirantamento com Resina.	29
7.1.1	Influência do Diâmetro de Perfuração.....	29
7.1.2	Influência da Direção do Furo.....	29
7.1.3	Influência no Perfil do Tirante	30
7.1.4	Preenchimento Total do Espaço Anular	31
7.1.5	Efeito do Torque no Sistema de Ancoragem.....	32
7.1.6	Capacidade do Transbordo de Carga.....	33
8	MINA PARAÍBA	35
8.1	Localização	35

9	OPERAÇÕES DO ATIRANTAMENTO	36
9.1	Sistema de Ancoragem com Resina	36
9.1.1	Cartuchos de Resina	38
9.1.2	Equipamento de Resinamento Mecanico	39
9.1.3	Chave de Aplicação do Tirante	40
9.1.4	Tubo de Resinamento	41
9.1.5	Controle de Qualidade do Atirantamento.....	43
10	METODOLOGIA	45
10.1	Controle de Qualidade	47
10.1.1	Armazenamento.....	47
10.1.2	Perfuração.....	48
10.1.3	Resinamento	49
10.1.4	Instalação dos Tirantes	49
11	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
11.1	Ensaio de Campo	61
12	CONCLUSÃO	64
13	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

Nas atividades de escavações subterrâneas, um dos fatores mais importantes é a estabilização da escavação na rocha, a fim de garantir a manutenção da estabilidade da escavação e a segurança dos colaboradores e dos equipamentos. Na maioria dos casos essas aberturas são realizadas em espaços fechados compostos por rochas, que cuja matriz são encontradas fraturas e água, intitulados como maciços rochosos (MR). O fato desses serem formados a partir de ocorrências naturais, o conhecimento pleno de sua composição estrutural e comportamento cinemático se torna difícil.

Por este motivo a geotecnia, principalmente quando relacionada á mecânica de rochas, constitui uma área da Engenharia de Minas muito complexa, e exige do profissional uma atenção maior para garantir a vida útil do projeto e a integridade de seus colaboradores.

Na mecânica das rochas, o objetivo do suporte e reforço das rochas é proteger a escavação e ter uma garantia que a mesma fique segura e aberto para todo tempo de vida útil necessária. A eficácia estratégica do sistema de reforço é importante por duas razões principais: são elas, segurança e realizar a escavação de forma mais econômica. Para um maciço rochoso, um sistema de estabilização que corresponde ao comportamento esperado é selecionada a partir de uma avaliação geológica, suas redes de descontinuidades, e a condições de carga de tensão (Villaescusa, et al., 2007).

Após a realização da abertura e da contenção necessária para o sistema de reforço, no decorrer da vida útil do projeto, ou seja, da abertura subterrânea são feitos monitoramentos geotécnicos que estabelecem se os meios de suporte estão atuando de maneira eficiente em cada local aplicado. Um tipo de monitoramento realizado são os testes de tração utilizando um macaco hidráulico. Este teste promove o tracionamento do métodos de contenção e verifica sua real capacidade.

Levando em consideração que a operação de atirantamento com cartuchos de resina é um trabalho complexo, por motivos de aspectos condicionantes, é fundamental que o operador responsável pela operação tenha conhecimento suficiente para executar este procedimento. Assim, o controle de qualidade e a orientação é importante para constatar prováveis falhas ou deficiências operacionais. Em caso de falha operacional, o sistema de proteção pode ser ineficaz quando solicitado o esforço necessário, além do desvio de tempo operacional associada a um retrabalho e encargos financeiros para a empresa e principalmente a segurança dos colaboradores e dos equipamentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é elaborar um *check list* que possibilite o controle e qualidade do atirantamento de uma mina subterrânea, localizada no estado de Mato Grosso, no município de Peixoto de Azevedo, para obter uma clara caracterização do controle e qualidade da atividade. De maneira à identificar e/ou analisar vícios e propor ou recomendar possíveis melhorias a ser implantadas.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste presente trabalho foram os seguintes:

- Investigar os principais eventos que são responsáveis pela geração de dados que constituem os ciclos de atirantamento.
- Identificar possíveis erros operacionais decorrentes da conduta humana, na atividade do atirantamento;
- Apresentar os dados de operação mediante a um tratamento estatístico descritivo (histograma e gráfico de pareto dos principais erros e/ou vícios operacionais), para geração de um plano de ação de modo a corrigir as principais falhas.

3 JUSTIFICATIVA

O tema selecionado surgiu a partir da necessidade em avaliar, detalhadamente, a atual situação dos procedimentos adotados para o atirramento da mina Paraíba, visando aumentar o controle e qualidade dessa operação, bem como proporcionar maior segurança na mina.

Este trabalho de conclusão de curso foi sendo desenvolvido em parceria com a empresa P.A. Gold Mineração e Metalurgia S/A., em busca de investigar possíveis erros no atiramento mecânico com resina, de certa forma, muito comuns em minerações subterrâneas. Levando em consideração, que a atividade de instalação do sistema de contenção com a aplicação de tirantes com uso de argamassa de resina é uma operação com nível de complexidade expressivo, em razão da, série de condições relevantes, como: Armazenamento, Perfuração, Resinamento e Instalação, e primordial que os operadores encarregado pela operação de estabilização detenham de conhecimento suficiente para realizar este procedimento. Também, é importante salientar que o desenvolvimento da mina Paraíba é um desafio condicionante para o futuro das operações. Portanto, o controle de qualidade e a instrução são ferramentas importantes para detectar possíveis falhas ou vícios operacionais. Uma vez que, a medida que as falhas operacionais se tornam recorrentes, o sistema de reforço pode não ser eficaz, gerando assim, o retrabalho da atividade causando ônus financeiro à empresa e a mitigação do risco a segurança dos colaboradores e equipamentos utilizados.

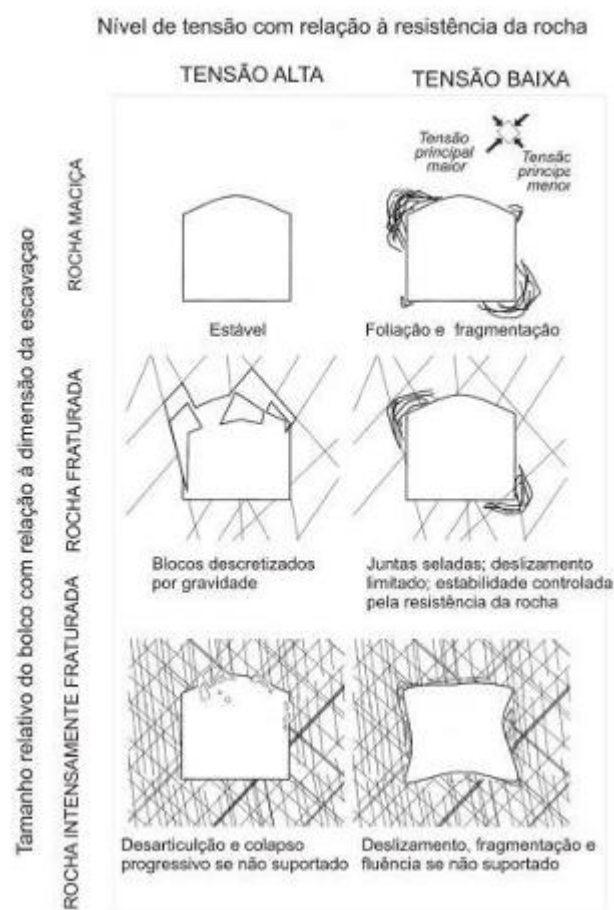
As análises tratadas neste trabalho ficaram concentradas no monitoramento da aplicação dos tirantes para a geração de dados que tornassem possível a identificação de falhas no decorrer da atividade em campo, resultantes da conduta humana, e/ou de processos operacionais.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Escavações Subterrâneas

De acordo com Barbosa (2008), em estruturas onde tem a presença de escavações subterrâneas o comportamento dos maciços rochosos, são amplamente discutidos as interações relacionadas a tensão induzidas, quanto a resistência do maciço rochoso e a relação dos tamanhos dos blocos que podem ser formados a partir das descontinuidades, com as dimensões do realce total, como desmostra a Figura 1

Figura 1 - Modos de tensão, integridade estrutural e ruptura de um maciço rochoso.

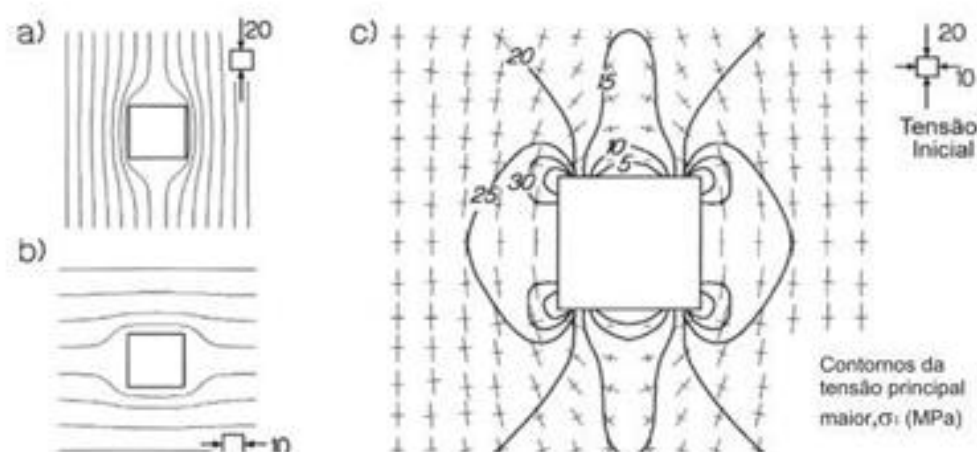


Fonte: (Hutchinson e Diederichs 1996, modificado por Barbosa, 2008).

Essas tensões podem ser redistribuídas, concentradas ou aliviadas, dependendo da relação de tensões horizontais e verticais predominantes e da presença de descontinuidades. Dessa forma, o efeito

arco da sustentação ocorre devido ao processo de redistribuição das tensões provocadas pela escavação. Junto a estas aberturas existe uma zona de descompressão onde a rocha está sujeita ao seu próprio peso. Existe uma região de sobrepressão entre o limite de expansão e o limite de influência. Após este limite de influência, o maciço rochoso não é afetado pela escavação (Hutchinson e Diederichs, 1996, apud Barbosa 2008). Conforme ilustrado na Figura 2.

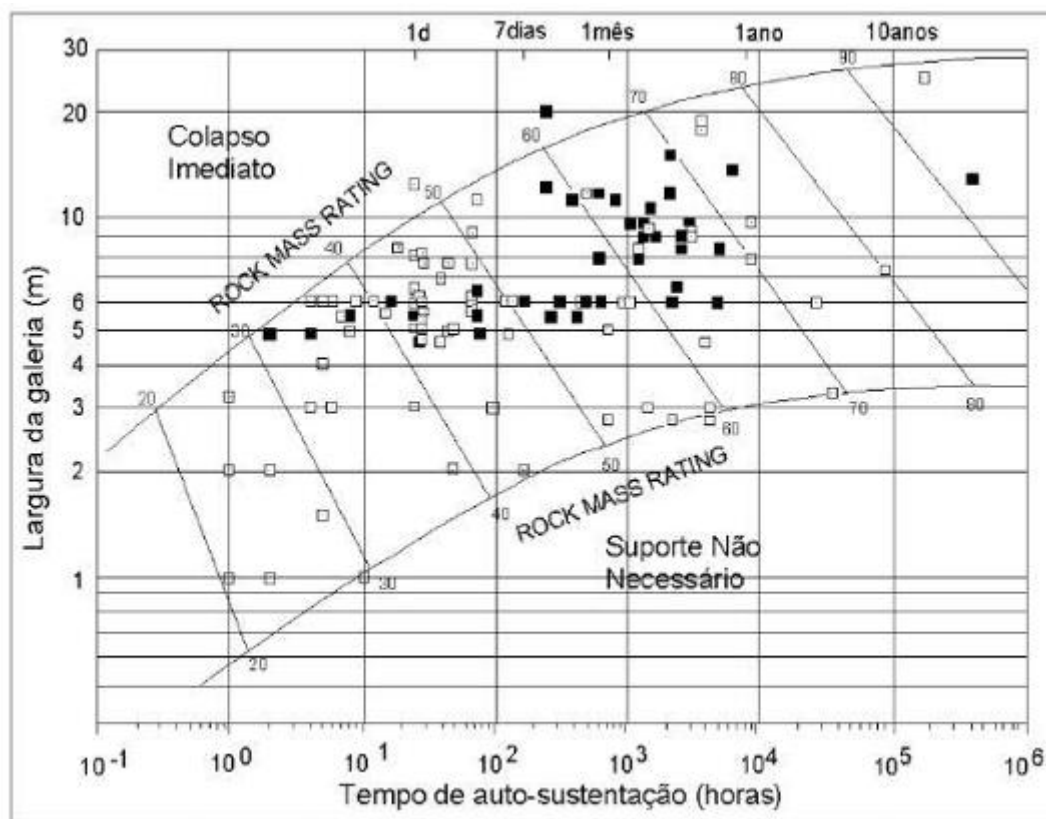
Figura 2 - Distribuição da tensão induzida no entorno de escavações. a) tensão vertical; b) tensão horizontal; c) campo de tensão na escavação.



Fonte: (Hutchinson e Diederichs, 1996, modificado por Barbosa 2008).

As fases que antecedem as obras de escavações subterrâneas e a caracterização e classificação geomecânica dos maciços rochosos, com o intuito de quantificar suas características, como: litologias, descontinuidades (número de famílias, espaçamento, abertura, preenchimento e rugosidade), condições de água subterrânea, alteração, deformação, resistência e estado de tensão inicial do maciço (Barbosa 2008). Os usos de classificação dos maciços rochosos mais usuais em minas subterrâneas são o *Rock Quality Designation (RQD)*, O *Rock Mass Rating System (RMR)* e o (*Q System*). A Figura 3, traz a correlação temporal de auto sustentação de uma escavação subterrânea em relação à classificação RMR e a largura da escavação na galeria.

Figura 3- Delimitação de auto suporte, vinculado a largura da escavação e ao RMR.



Fonte: (Bieniawski , 1989 apud Brandani 2011).

4.2 Definição de Suporte e Reforço

Segundo Hadjigeorgiou e Potvin (1973), reforços e suportes em escavações subterrâneas são dispositivos de sustentação utilizados para promover a estabilidade do maciço rochoso ao redor da escavação, reforços são elementos como cavilhas e tirantes instalados no interior do bloco de rocha. Suporte pode ser entendido como a aplicação de elementos como concreto projetado ou malha de aço na superfície externa da escavação na rocha.

De acordo com Brady e Brown (1985) apud Windsor e Thompson (1993), suporte é a aplicação de uma força de reação à superfície de escavação do subsolo, que envolve a instalação de elementos como madeira, concreto projetado e malha de aço. O reforço, por outro lado, é um meio de preservação ou melhorar as propriedades gerais do maciço rochoso interno através de técnicas de instalação de elementos como tirantes, cabos e âncoras.

Brady e Brown (1985) observaram que os elementos de reforço e suporte atualmente instalados

em escavações subterrâneas são considerados primários ou secundários, principalmente aqueles instalados durante ou imediatamente após a escavação para garantir a segurança durante as condições de trabalho das escavações subsequentes e inicia o processo de mobilização e manutenção da resistência do maciço rochoso, controlando o deslocamento da superfície de escavação. Um elemento secundário é qualquer elemento de contenção instalado após a instalação do elemento primário. Os principais elementos de contenção permitem curtos períodos de manutenção da escavação. Elementos menores garantem a manutenção a longo prazo da escavação.

Reforço e suporte também podem ser considerados ativos ou passivos. O ativo aplica uma carga predeterminada à superfície escavada quando instalado. Exemplos de elementos de contenção ativos são tirantes e cabos de tensão. Por outro lado, os elementos passivos não são protendidos durante a instalação, mas geram cargas equilibrando a deformação do maciço rochoso.

4.2.1 Suporte

Nas primeiras explicações sobre o comportamento do maciço rochoso, pouca consideração foi dada aos mecanismos de funcionamento dos suportes de escavação subterrânea. Esse entendimento limita-se a manter a carga gravitacional criada pelo destacamento do maciço rochoso da área mal definida, mantendo assim o maciço sem deslocamentos significativos.

Os conceitos de convergência e tensão confinante tornaram-se relevantes na década de 1960 com o surgimento de entendimentos mais completos e avançados de abordagens de grande escala/interação (Pacher 1964, Daemen 1977 apud DIAS 2012). Este conceito é ilustrado na Figura 4. A característica essencial que deve ser observada é a capacidade do suporte em manter a resistência do bloco ao redor da escavação (reforço do maciço).

Dessa forma, os suportes ajudam o maciço rochoso a se sustentar. Esta abordagem demonstra claramente a importância da correta instalação dos suportes, rigidez e desempenho das fundações e elementos que compõem o sistema de reforço, entre outras características.

Figura 4 - Interação entre o maciço/suporte.



Fonte: (SOLOTRAT, 2015).

De acordo com SILVA, (2016), à medida que o tamanho das aberturas subterrâneas aumenta, aumenta também a necessidade de suporte devido ao aumento da produção e conhecimento geomecânico. As ancoragens internas representam o sistema mais próximo dessas características desejáveis, pois são fáceis de instalar, relativamente baratos e podem reduzir significativamente a seção de escavação, facilitando o acesso e ventilação de pessoas e máquinas.

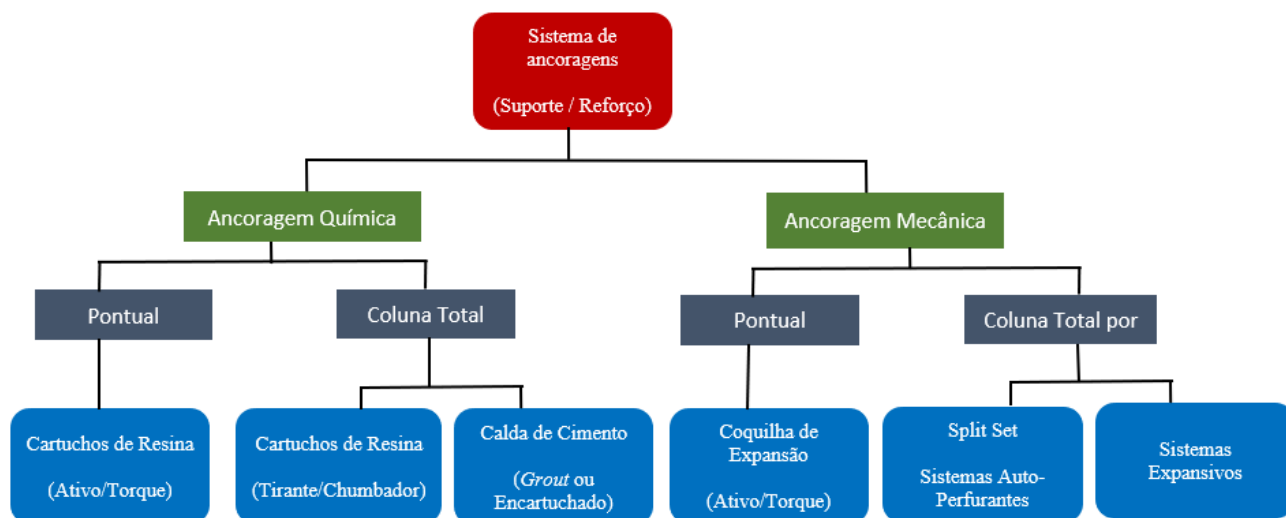
Neste trabalho descrito, o sistema de ancoragem com tirantes com argamassa de resina será o elemento de suporte central do estudo.

4.3 Sistemas de Ancoragens

As ancoragens têm propriedades de sustentação, incluindo suportes, revestimentos e técnicas de reforço (ou tratamento) de rochas ou solos. Eles propõem mobilizar melhor a força interior da rocha para alcançar o autossustento, que é o objetivo principal do sistema de apoio. Seu efeito positivo possibilita o uso de argamassa e parafusos de passagem de cabos, aumentando o reforço do maciço rochoso no interior da escavação (SILVA, 1998).

Os principais sistemas de ancoragem são apresentados na Figura 5, que também diferencia o uso como suporte ativo ou passivo. Quando o parafuso deve ser tensionado, alguma forma de ancoragem deve ser usada para prender a extremidade do parafuso à rocha. Segundo Hoeket alii (1995), os três tipos mais comuns são a ancoragem mecânica, com argamassa de cimento ou química (com resinas sintéticas).

Figura 5 – Fluxograma dos principais sistemas de ancoragem interna.



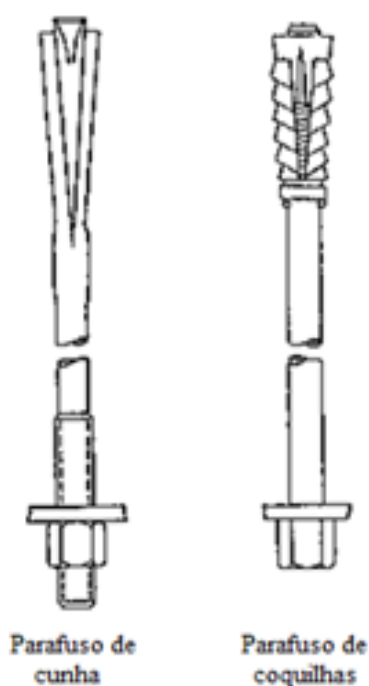
Fonte: (SILVA *et. al*, 1998).

4.4 Ancoragem Mecânicas

4.4.1 Ancoragem Mecânicas Pontuais

Segundo os inscriteores, Hoek e Wood (1987), os sistemas de ancoragem mecânica são divididos em duas categorias: parafusos de coquilha e parafusos de cunha. Estes fornecem suporte eficiente em diversas situações, como quando, a presença de blocos de rocha que estão soltos devido as fraturas de interseção, quando os blocos estão soltos devido à baixa qualidade de detonação ou devido a planos de assentamento de rochas. Estes devem suportar o peso do material solto e são constantemente utilizados em conjunto com telas metálicas adicionada onde apresenta a existência de pequenos fragmentos de rochas, ou seja, onde existe a possibilidade destes pequenos fragmentos de rochas se desprenderem entre os parafusos. A Figura 6, mostra as duas âncoras mecânicas principais.

Figura 6 – Parafuso de ancoragem mecânica pontual.



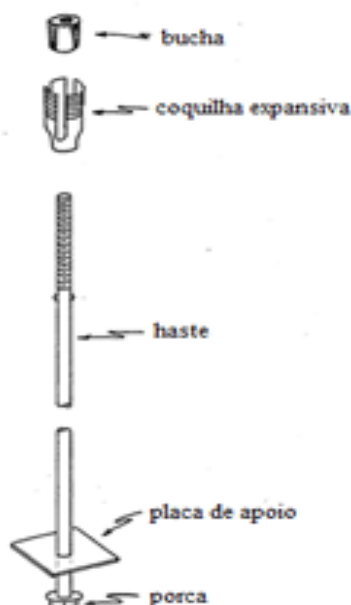
Fonte: (Adaptado de Priester et. Al, 1993).

Esses parafusos são geralmente tensionados a cerca de 70% de sua carga final de ruptura com uma chave de torque pneumática para apertar blocos e cunhas soltos. Isso fornece o máximo limite de tensionamento entre os blocos no qual fornece ajuda a rocha a se autosustentar. Porém, infelizmente, há determinadas objeções com o uso dos parafusos de ancoragem mecânicos. Parafusos gastos que perdem toda a tensão e propendem a escorregar ou quebrar gradualmente no decorrer do tempo, reduzindo a competência do parafuso a zero e potencialmente causando queda de rochas. Este é um dos parâmetros principais da desvantagens do uso das ancoragens mecânicas, mas para outros tipos, como argamassa e ancoragens de fricção, isso não é um impedimento. Se a placa do parafuso de ancoragem falsa escorregar ou quebrar, o restante do comprimento do parafuso permanecerá ancorado o que ainda fornecerá suporte (HOEK e WOOD, 1987).

4.4.2 Parafuso de Coquilhas (*Expansion Shell Bolt*)

Lúcio (1962), descreve um parafuso tipo coquilha, como um composto constituído por uma barra de aço de seção circular e uma porca na extremidade externa e uma coquilha de expansão com bucha na extremidade interna. A Figura 7, representa os elementos do parafuso tipo coquilha.

Figura 7 – Componentes do parafuso de coquilha.



Fonte: (Adaptado de Lucio, 1962).

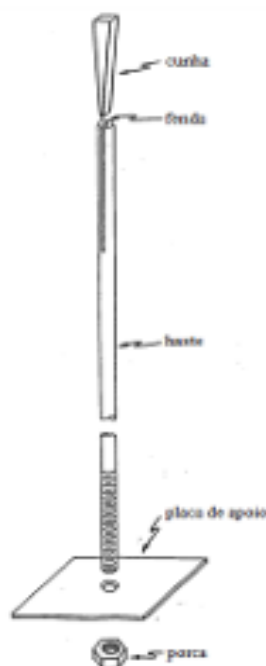
Logo após a inserção do parafuso, aplica-se um torque para puxar a luva no interior da matriz, obrigando a expansão do parafuso contra a parede do furo e, logo em seguida, o parafuso é apertado. Na ponta externa do parafuso, as porcas e placas de apoio são usadas para distribuir a carga do parafuso sobre a face da rocha. Além disto, um ajuste cônico é fundamental pela razão de que a superfície da rocha raramente está em ângulo reto com o parafuso (HOEK et al., 1995).

O mecanismo de ancoragem deste modelo de parafuso é o atrito e o travamento entre o casco e a parede do furo. Devido ao comprimento limitado da concha de expansão, a capacidade de carga do parafuso é parcialmente baixa, sendo aconselhado o uso para rochas de baixa resistência para impedir o deslizamento. (Li, 2013, Apu De KRISTJÁNSSON, 2014).

4.4.3 Parafuso de Cunha (*Slot And Wedge Bolt*)

Conforme descrito por Lucio (1962), um parafuso de cunha é uma haste de seção transversal circular que encaixa uma cunha em uma extremidade ranhurada e é aparafusada na outra com uma porca e uma placa de apoio. A Figura 8, mostra o elemento do parafuso de cunha.

Figura 8 - Componentes do parafuso de cunha.



Fonte: (Adaptado de Lucio, 1962).

O parafuso é inserido no furo e a cunha é parcialmente inserida na ranhura até o fundo. Usando uma furadeira ou alguma outra máquina de percussão, o parafuso é fixado na outra extremidade, forçando a cunha na ranhura para que o pino do parafuso fique rente à parede do orifício. À medida que a percussão continua, as garras de cada lado do sulco criam sulcos na rocha. Desta forma, a extremidade interna do parafuso é fixada na rocha.

Conforme dito por LUCIO, 1962, na extremidade rosqueada, a placa de apoio é inserida e logo em seguida, a porca recebe um torque específico. À medida que a porca é apertada, o parafuso é tensionado e uma de suas extremidades é fixada na rocha, causando compressão e criando um efeito autoportante.

4.4.4 Ancoragens Mecânicas em Coluna Total (por Fricção)

Os parafusos de fricção são apertados de forma especial utilizando a resistência ao atrito de deslizamento criada por forças radiais na parede do furo ao longo de todo o comprimento do parafuso, sem a necessidade de dispositivos de travamento mecânico ou ferramentas auxiliares. (LI, 2013, apud

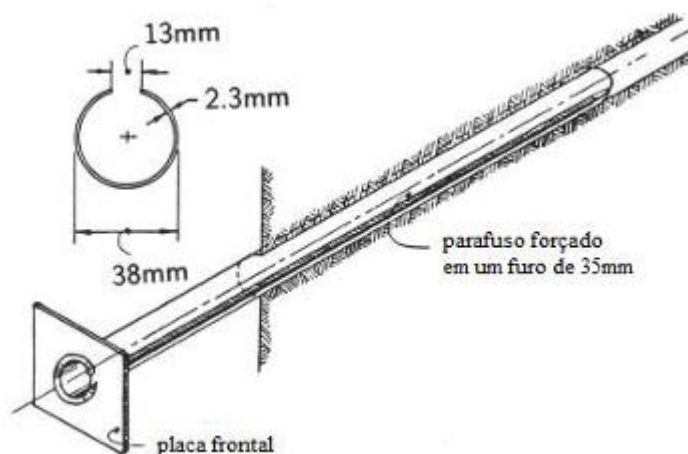
KRISTJÁNSSON, 2014).

As ancoragem por fricção não podem ser tensionadas, portanto devem ser instaladas antes que ocorra qualquer movimento da rocha. A experiência mostrou que a remoção e instalação cuidadosa desses parafusos podem fornecer um sistema de suporte eficaz que pode suportar uma gama mais ampla de condições de rocha do que os parafusos ancorados mecanicamente (HOEK e WOOD, 1987). Uma das principais vantagens dos parafusos de ancoragem de fricção é sua capacidade de acomodar grandes formações rochosas. No entanto, não suporta alta capacidade de carga (LI, 2011, apud KRISTJÁNSSON, 2014).

4.4.5 Parafuso Split Set (Cavilhas de Atrito ou Estabilizadores)

O sistema, mostrado na Figura 9, consiste em tubos e painéis de aço de alta resistência. Ele é instalado empurrando-o em um orifício ligeiramente subdimensionado e a força radial da mola do tubo em forma de C, comprimido fornece ancoragem por fricção ao longo de todo o comprimento do orifício. (HOEK et al. 2005).

Figura 9 - Componentes do parafuso Split Set.



Fonte: (Adaptado de Hoek e Wood, 1987).

O sistema é rápido e fácil de instalar, e é utilizado em minerações subterrâneas em todo o mundo. Este dispositivo é especialmente útil em ambientes moderados de explosão de rocha, pois desliza em vez de quebrar. Quando usado com uma tela, ele segura rochas quebradas criadas por pequenas explosões. Desde que a demanda pelo estabilizador *split* não exceda sua capacidade, o

sistema funciona bem e pode ser considerado para muitas aplicações no mundo da mineração. (Hook et al. 2005).

A corrosão ainda é um dos principais problemas, pois esse tipo de cavilha não pode ser usado com argamassa. O tubo galvanizado pode ajudar a reduzir a corrosão, mas pode não ser uma medida preventiva viável para aplicações de longo prazo em ambientes agressivos (HOEK et al., 2005).

4.5 Ancoragem Química

As ancoragem químicas são realizadas com argamassa e são utilizadas como meio de controle do terreno e possuem uma ampla gama de aplicações em áreas da geotecnia. Por ser um sistema muito eficiente tanto mecânico quanto economicamente, é cada vez mais utilizado para substituir parafusos de ancoragem mecânica (CAO et al., 2014).

Conforme descrito por Kristjánsson (2014), tais parafusos consistem em barras de aço e placas de suporte, semelhantes às ancoragens mecânicas, mas diferem no uso do material de conexão, que é característico desse tipo de parafuso. Além disso, existem nervuras na superfície da barra, de modo que o catalisador e a argamassa se misturam bem, e a adesão entre a barra e a argamassa é aumentada pelo atrito. Alguns fabricantes também destacam a seção transversal elíptica do parafuso como um elemento importante (ALVES, 2018).

A argamassa refere-se principalmente a materiais resinosos ou cimentícios que podem ser bombeados ou encapsulados. Seu principal objetivo é fornecer um mecanismo de transferência de carga entre o parafuso e o maciço rochoso e aumentar a resistência por meio de adesão química, atrito e intertravamento mecânico (CAO et al., 2014).

São parafusos passivos, não são ativados durante a fase de instalação e se auto-tensionam quando a rocha começa a se mover e expandir, portanto, os parafusos devem ser instalados o mais rápido possível antes que a rocha comece a se deformar e o parafuso perca força de intertravamento e cisalhamento (KILIC et al., 2002, apud KRISTJÁNSSON, 2014).

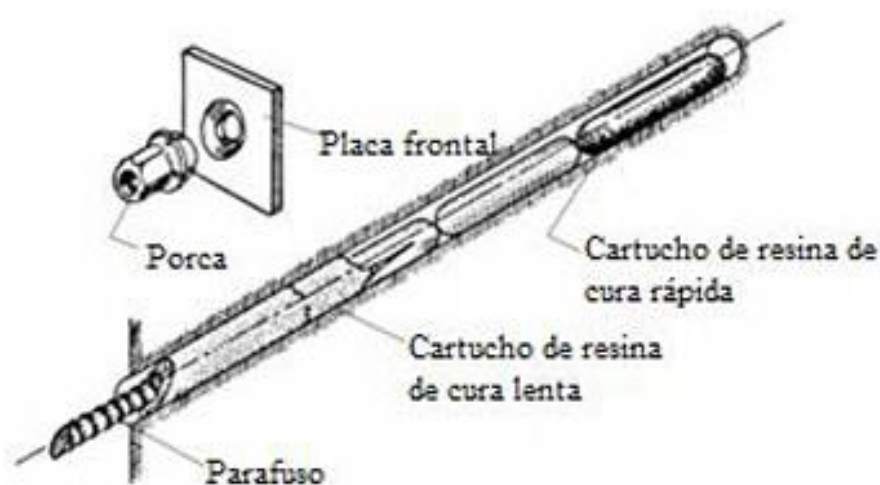
4.5.2 Parafuso com Resina

O cartucho de resina utilizado nas ancoragens químicas é composto por duas unidades, uma

contendo a resina e a outra contendo o catalisador. Seu alto custo compensa a rapidez de instalação, mas sua vida útil é limitada, pois pode ser de apenas seis meses, dependendo das condições de armazenamento (HOEK et al., 1995).

Sua instalação é simples, o cartucho é acoplado em um tubo de resinamento e é empurrado até o final do furo e o parafuso é inserido rotativamente. A cápsula de plástico estoura e a resina e o catalisador se misturaram. A cura da resina, dependendo de sua especificação, ocorre em minutos (HOEK et al., 1995). A Figura 10, mostra uma configuração típica para instalação de uma ancoragem com argamassa de resina.

Figura 10 - Componentes do parafuso de ancoragem de resina.



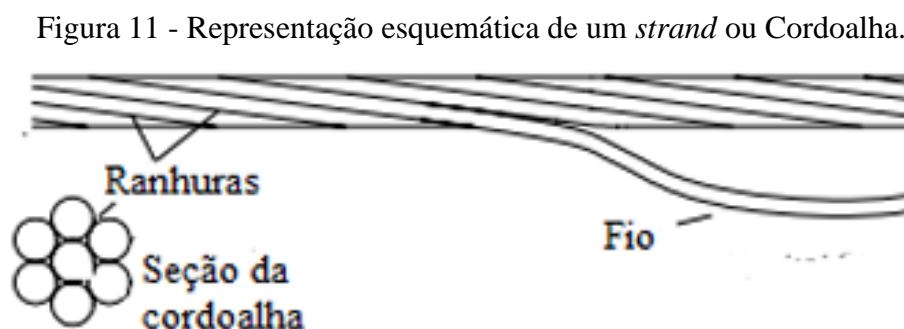
Fonte: (Adaptado de Hoek et. al, 1995).

4.6 Cabos (*Cable Bolt*)

Os autores, Hutchinson e Diederichs (1996) e Brady e Brown (2006) descreveram cabos como componentes de aço com elevada resistência à tração. No qual, são consistidos de vários fios de aço enrolados que formam tendões flexíveis. Eles são normalmente usados com a finalidade de exercer como reforço ou suporte, nos quais, podem ou não ser pré-tensionados.

Esses cabos oferecem alta versatilidade de suporte em rochas, pois são flexíveis o bastante para dobrar em raios relativamente pequenos, o que torna possível a instalação em espaços apertados. Eles podem ser feitos em diversas configurações de arame e em comprimentos maiores do que os parafusos, e podem de ser também utilizadas em placas de apoio e em malha para contenção da face. A Figura

11, mostra uma representação esquemática de um conjunto de fios (Cordoalha ou *Strand*) e sua seção transversal.



Fonte: (Adaptado de Hutchinson e Diederichs, 1996).

Quando este *Strand* é tracionado, a interferência entre o fio de aço em espiral com as ranhuras e a argamassa utilizada, tende-se a ocorrer um deslocamento radial no conjunto argamassa e cabo. A expansão radial induz a pressão de confinamento que, acompanhado com o coeficiente de atrito entre o fio de aço e a argamassa, cria tensões de cisalhamento que resistem ao deslizamento dos cabos (HOEK et al., 1995).

5 TESTE DE ARRANCAMENTO (PULL OUT TEST)

Segundo Lana e Silva (2010), são realizados ensaios de arranque em tirantes pré-instalados dentro da galeria para mensurar a resistência da ancoragem. Essa resistência é obtida pelo deslocamento do dispositivo da ancoragem e é medida em função da carga aplicada ao tirante, que produz uma curva carga-deslocamento.

Os testes de arranque são realizados no tirante afim de, medir sua eficácia de trabalho, na qual, representa a carga suportada no sistema de ancoragem quando o deslocamento começa a aumentar significativamente, o que condiz com à carga máxima que o sistema pode suportar (ASTM, 2014).

Segundo os autores Lana e Silva (2010), além do método de instalação, este ensaio é amplamente utilizado na seleção de tirantes e na análise da qualidade dos materiais. As informações obtidas no decorrer dos testes de arrancamento podem ser empregues para a determinação da ancoragem mais apropriada com base em informações sobre o desempenho relativo dos mais diferentes tipos de designer dos vergalhões avaliados no mesmo tipo de rocha (ASTM, 2014).

Suas medidas não incluem todo o sistema de ancoragem, o teste de arranque só devem ser feito para sistemas de ancoragem mecânica, e sistemas similares com argamassa de cimento ou argamassa de resina. (ASTM, 2014).

Segundo Gontijo (2017), no geral, a maioria das aplicações possui cargas de até 60% da capacidade de ancoragem, conforme os parâmetros das especificações do fabricante. Para efeitos de controle de qualidade, ensaios de arranque devem ser realizados, e, 95% dos parafusos devem estar em conformidade para a liberação da área, quando não, deve se realizar outro teste em 10% dos parafusos instalados em campo, dos quais 95% ainda devem estar em conformidade. Se ainda assim, os parafusos não estarem em conformidade, estes devem ser reinstalados e novamente deverá executar o teste em 10% dos parafusos ancorados.

6 TIRANTES

Um tirante é composto por 03 elementos (matriz, placa e porca) projetados para funcionar de forma complementar para melhorar a performance do sistema de ancoragem, em especial para fortalecer e manter a resistência natural do maciço e/ou solo.

Segundo GONTIJO, A. *et al.*, 2018, a forma do vergalhão e a sua geometria são condicionantes importantes no comportamento do sistema. Estas características do reforço podem afetar as três etapas básicas do padrão de instalação e, portanto, o comportamento esperado do sistema de ancoragem de resina. Essas etapas estão distribuídas da seguinte forma:

- Na qualidade da mistura da resina;
- No confinamento da resina no furo;
- Na contribuição da transferência de carga no sistema de ancoragem.

7 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

7.1 Parâmetros Relevantes e Críticos que Influenciam na Performance de Atirantamento com Resina.

7.1.1 Influência do Diâmetro de Perfuração

GONTIJO, A. *et al.*, 2016, observou que um menor diâmetro do furo do sistema de reforço utilizando argamassa de resinas, tem uma melhor performance do que em diâmetros maiores. Para uma correta análise de modificação do diâmetro, deve ser analisados dois principais parâmetros. Primeiramente, vale ressaltar que quanto menor o volume anular do furo, mais eficiente será o processo de mistura do cartucho de resina, reduzindo possíveis falhas quando a trituração da película de poliéster for ruim. E outro parâmetro, e a menor espessura de resina em relação ao volume do anular, conseqüentemente, à uma redução de consumo e uma ligação melhor entre tirante e o maciço rochoso.

7.1.2 Influência da Direção do Furo

GONTIJO, A. *et al.*, 2016, diz que na teoria, indica-se que a direção de instalação do sistema de reforço, deve ser perpendicular à foliação do maciço rochoso, entretanto, em sua grande maioria os furos para o sistema de ancoragem é perpendicular à superfície de escavação. Na prática, geralmente, a superfície da rocha é irregular, o que pode resultar em uma perfuração em direção não otimizada, ocasionando baixa performance do sistema.

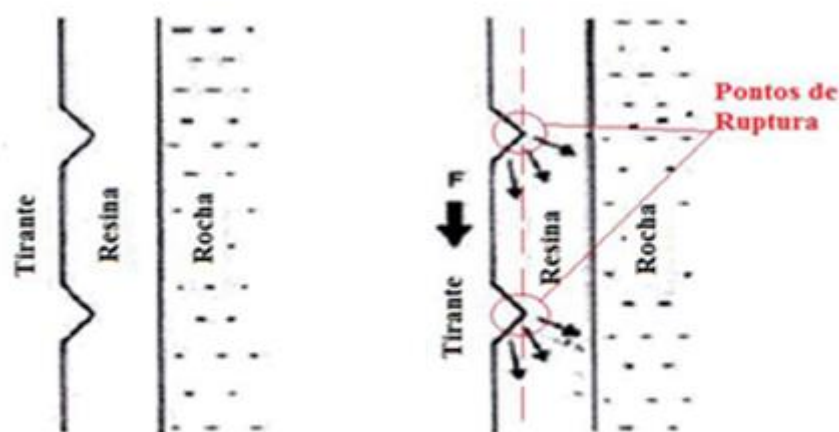
Ainda segundo o mesmo autor, dentre as possíveis falhas que a direção da perfuração para contenção pode ocasionar estão, no contato da placa com a superfície da rocha, gerando um mal confinamento do maciço, uma má mistura do catalizador e da base da resina.

7.1.3 Influência no Perfil do Tirante

Segundo GONTIJO, A. *et al.*, 2016, descrevem que a resistência do tirante é transferida para o maciço através da resina de poliéster e toda a aderência do sistema se dá nas irregularidades internas dos furos e nas nervuras do vergalhão. Aziz, N. e Jalalifar, H. (2005), diz que, testes de laboratório mostram que a ruptura de aderência ocorre por cisalhamento, ou seja, cisalhamento interno no elemento de aderência (resina) na interação com o vergalhão, conforme exposto na Figura 12.

De acordo com Kilic, A. *et al.* (2002), esta resistência na aderência, ou Grip Factor (GF) varia com o projeto da haste, dependendo da altura, espessura e do espaçamento entre filete/ressaltes da rosca.

Figura 12 - Detalhamento da área de ruptura entre o tirante e a resina.



Fonte: (GONTIJO, *et al.* 2018).

Além disso, de acordo com GONTIJO, A. *et al.*, 2018, além da manifestação da transferência de carga, o designer dos tirantes são dois fatores que afetam a qualidade do funcionamento da instalação:

- A eficiência de confinar a resina na extremidade do furo ou expulsá-la depende do sentido de rotação quando o tirante é instalado.
- Homogeneização da qualidade da mistura e da matriz catalisadora, e a garantia da moagem da membrana que reveste o cartucho de resina.

O vergalhão usado pelas equipes de operações da mina, em vez do vergalhão com nervuras utilizados em construções, é projetado em especial para fins geotécnicos. São barras de aço integralmente rosqueadas com desenho helicoidal para melhor aderência ao componente de conexão

(resina), aumentando significativamente a transferência de carga entre a barra de aço e o maciço rochoso.

7.1.4 Preenchimento Total do Espaço Anular

Para garantir a coluna total no sistema de ancoragem, é necessário empregar a relação entre distância da broca de perfuração, tirante e diâmetro da resina, ou seja, a diferença de diâmetro do bit, vergalhões e do cartucho de resina utilizados. A

Tabela 1, mostra que com base nos diâmetros atualmente utilizados na mina Paraíba, eles apresentam uma margem de segurança de 1%.

Tabela 1 - Preenchimento total do espaço anular

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE RESINA POR FURO				
CONFIGURAÇÕES	mm	mm ³	N.Cartuchos	Volume de Resina a mais
Comprimento do Furo	2300	2211737.5	0.98811	101%
Diâmetro do Furo	35			
Comprimento do Tirante	2300	873862		
Diâmetro nominal do Tirante	22			
Comprimento do Cartucho	2200	1353968		
Diâmetro do Cartucho	28			

Fonte: Contribuição do autor

De acordo com ASTM F432-10, o volume do furo deve ser calculado usando as seguintes referências:

$$\text{Diâmetro do furo} = \text{Diâmetro Nominal} + 0,043\text{in.}$$

$$\text{Comprimento do furo} = \text{Comprimento do tirante} + 1\text{in.}$$

A Tabela 2, expõe os cálculos respeitando as orientações da norma, é possível notar uma insuficiência em 6% de resina no preenchimento do espaço anular. Desconsiderando o desgaste do diâmetro do bit em relação a quantidade de furos.

Tabela 2 - Preenchimento do espaço anular corrigido

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE RESINA POR FURO				
CONFIGURAÇÕES	mm	mm ³	N.Cartuchos	Volume de Resina a mais
Comprimento do Furo	2325.4	2377902.5	1.11084	94%
Diâmetro do Furo	36.0922			
Comprimento do Tirante	2300	873862		
Diâmetro nominal do Tirante	22			
Comprimento do Cartucho	2200	1353968		
Diâmetro do Catucho	28			

Fonte: Contribuição do autor

7.1.5 Efeito do Torque no Sistema de Ancoragem

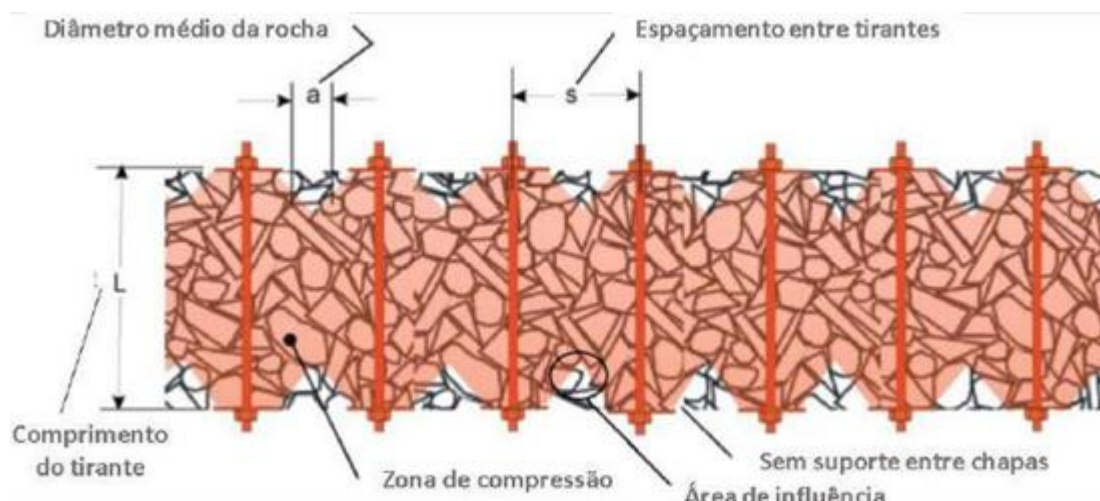
GONTIJO, A. *et al.*, 2018, explica que nesta técnica, o tensionamento do sistema de reforço ocorre em hastes preenchidas ao longo do furo. Para isso, foram utilizados dois tipos de resinas em tempos de cura diferentes para que o sistema possa ser torquado durante a instalação dos tirantes. O comprimento da perfuração é outro fator muito relevante para o sucesso do sistema, pois qualquer sobreperfuração pode levar à falha, portanto, a conformidade deve ser cumprida com base no comprimento do tirante a ser ancorado.

GONTIJO, A. *et al.*, 2018 afirmam que sob cargas pré-definidas, depois da instalação da resina de pega rápida e antes da cura da resina de pega lenta, os resultados de tensão tendem a se espalhar por toda a extensão do sistema de reforço. Neste caso, há uma maior restrição axial na área de instalação do tirante, o que reduz sua competência de carga devido à aplicação de cargas de tração.

Tirantes de ancoragem de coluna total fornecem maior rigidez em comparação com tirantes de carga pontual. Na prática, uma das principais vantagens do torqueamento nos tirantes está relacionada ao aumento da pressão de confinamento exercida ao redor da escavação de todos os arranjos existentes.

Conforme mostrado na Figura 13, as chapas de reforço ativo desempenham um papel importante na limitação de interferências na área onde a malha do tirante está distribuída e podem variar de acordo com seu tamanho e/ou dimensões.

Figura 13 - Área de interferência ocasionada pela chapa ao torquear o tirante.

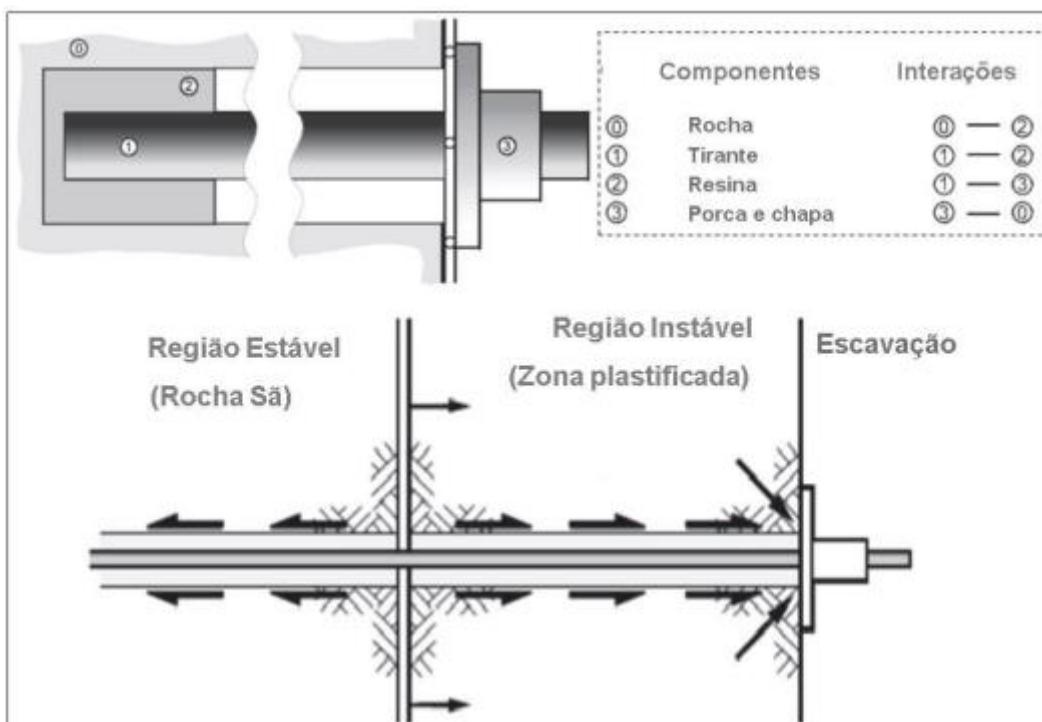


Fonte: Gontijo, *et. al.*, 2018.

7.1.6 Capacidade do Transbordo de Carga

A capacidade de transferência de carga é um termo que explicita a eficácia de um sistema de reforço na estabilização do maciço rochoso. Tully (1987), idealizou que a transferência de carga e a mudança na carga do sistema de reforço em relação ao comprimento do tirante. Kilic et al. (2002), definiu o termo sendo o arrasto máximo produzido pelo tirante por unidade de área do tirante. Os sistemas de reforço mais eficazes são caracterizados pela alta capacidade de transferência de carga, resultando em altas cargas, mas com pequenas mudanças de deslocamento. Na Figura 14, podemos ver detalhadamente a representação esquemática entre os componentes do sistema de suporte.

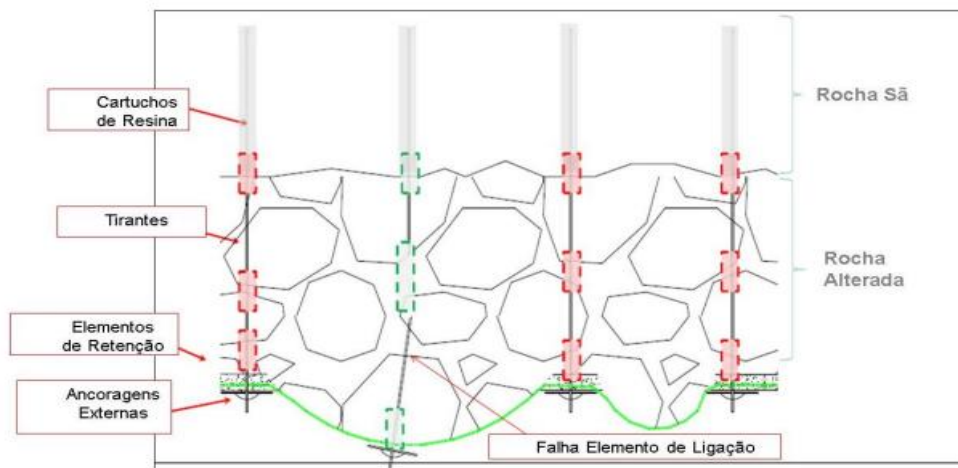
Figura 14 - Representação esquemática entre os componentes do sistema de suporte.



Fonte: adaptado de Thompson, 2012.

Contudo, conforme Figura 15, quando os elementos de conexão falham devido a espaçamento indesejáveis, no preenchimento da coluna total, gera-se uma região de fraqueza na rocha alterada o que provoca o colapso dos blocos que estavam reforçados pelo sistema, por consequência disto, pode levar a acidentes graves.

Figura 15 - Esquemática de falha no sistema de ancoragem por falta de preenchimento da coluna total.



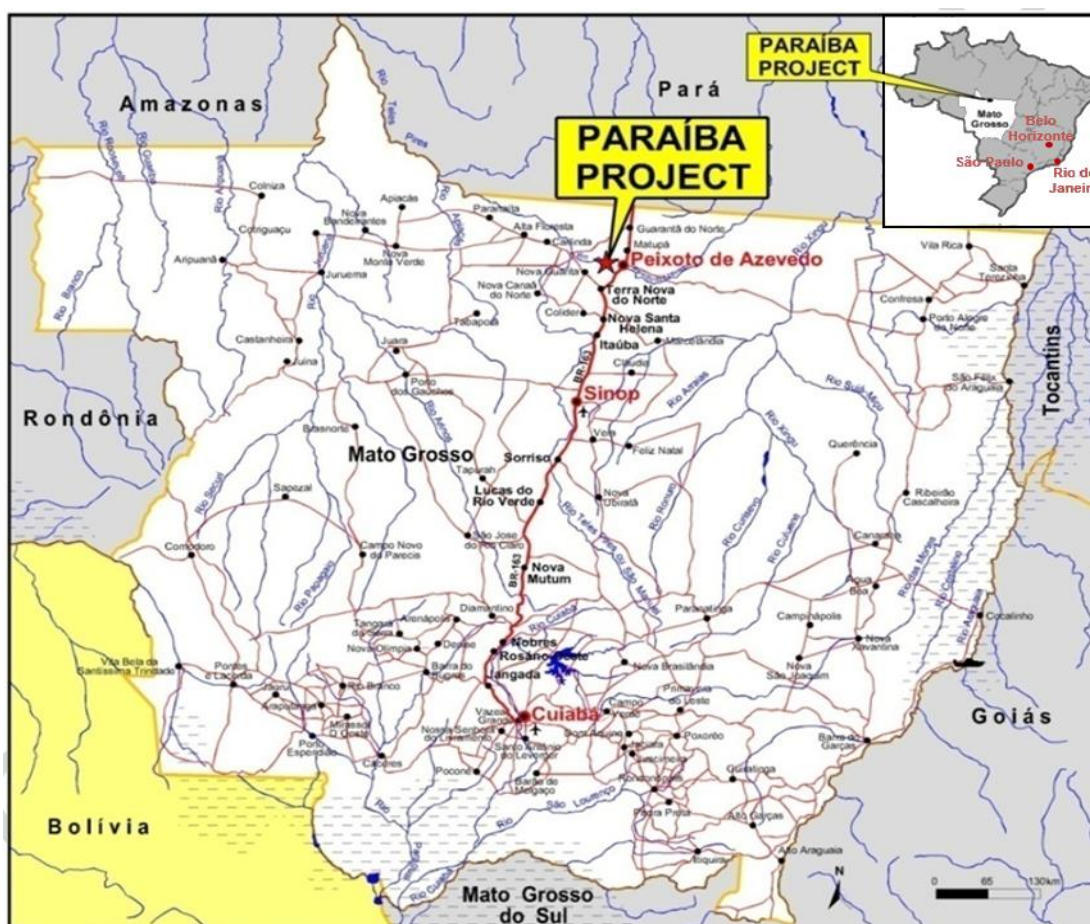
Fonte: Gontijo, et. al., 2018.

8 MINA PARAÍBA

8.1 Localização

A Mina de Paraíba está localizada na região centro-oeste do Brasil, na parte norte do Estado de Mato Grosso, no município de Peixoto de Azevedo, aproximadamente a 12 quilômetros da cidade, em uma zona rural, e aproximadamente a 690 quilômetros da capital Cuiabá, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Mapa de localização geográfica da Mina de Paraíba.



Fonte: P.A. Gold Mineração. (2021)

9 OPERAÇÕES DO ATIRANTAMENTO

O estudo foi realizado inicialmente por meio de revisão da literatura sobre o tema estabilização de escavações de minas subterrâneas pelo processo de ancoragem de maciços rochosos com uso ancoragem química com argamassa de resina sintética, com a introdução de equipamentos do tipo jumbo, na instalação de tirantes com o uso resina tornando o processo mecanizado na atividade de resinamento.

9.1 Sistema de Ancoragem com Resina

O sistema de ancoragem que a mina subterrânea Paraíba usa é portanto a ancoragem química com argamassa de resina sintética, ou seja, atirantamento com uso de cartuchos de resina de forma mecanizada.

Nas operações da mina Paraíba, se utiliza apenas 01 (um) tipo de tirante helicoidal, com diâmetro = 7/8" ou 22mm (nominal) e comprimento de 2400mm. Conforme mostrado na Figura 17.

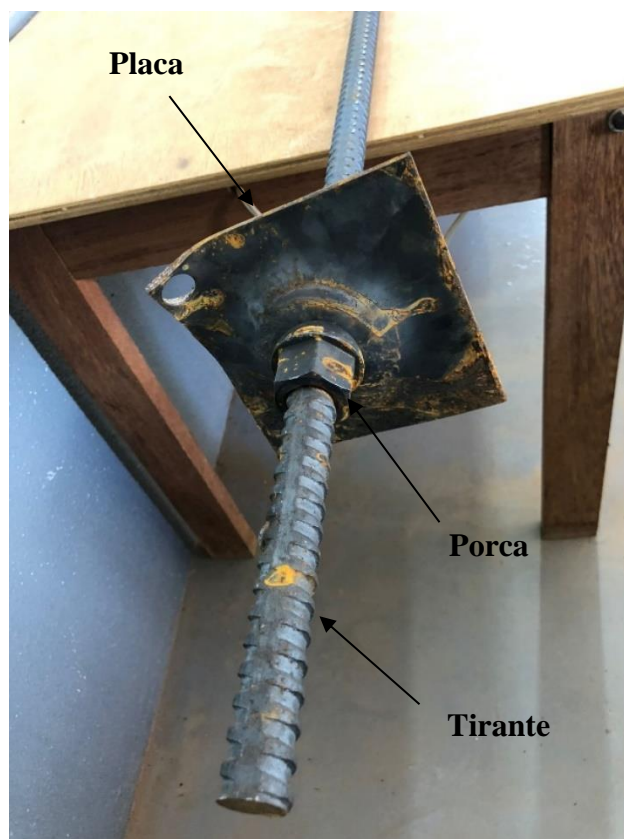
Figura 17 - Tirante helicoidal e diâmetro nominal



Fonte: Contribuição do autor

A porca utilizada são semiesféricas com encaixe HEX de 38 mm, as dimensões da placa estão detalhadas na Tabela 3 abaixo. Na Figura 18 os itens que compõem um tirante.

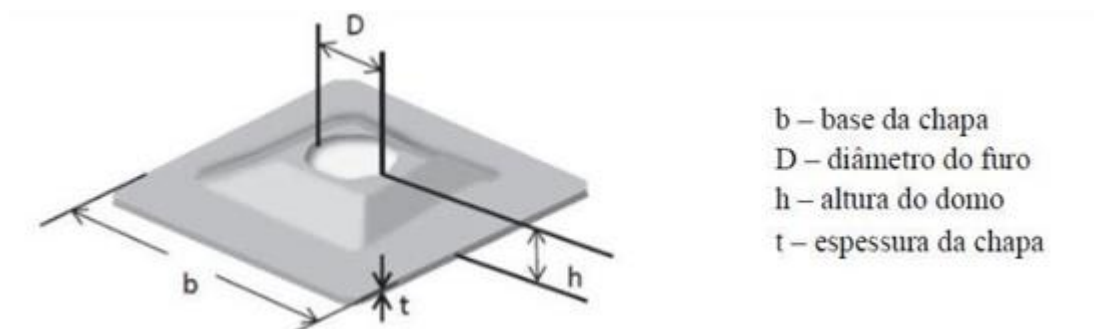
Figura 18 - Itens que compõem um tirante.



Fonte: Contribuição do autor

As chapas em reforço ativo, desempenham uma influência de confinamento em uma área entre as malhas dos tirantes, que pode variar de acordo com as dimensões da mesma. Conforme podemos verificar nas Figura 19.

Figura 19 - Esquematização da chapa do tirante.



b – base da chapa
D – diâmetro do furo
h – altura do domo
t – espessura da chapa

Fonte: Gontijo, *et. al.*, 2018.

Tabela 3 - Especificações da chapa

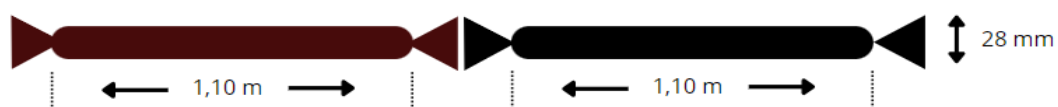
Especificações da chapa /mm	
b - Base da Chapa	150
D - Diâmetro do furo	33
h - Altura do domo	4.76
t - Espessura da chapa	4.6

Fonte: Gontijo, *et. al.*, 2018.

9.1.1 Cartuchos de Resina

Já a resina utilizada, é composto por 02 (duas) cartuchos de resina, com 28mm de diâmetro e 1100mm de comprimento, grampeadas entre si com dois tempos de cura diferentes conforme mostrado na Figura 20 e Figura 21 .

Figura 20 - Representação das dimensões dos cartuchos de resina Rock Support utilizados.



Fonte: Contribuição do autor

Figura 21 - Cartuchos de resina Rock Support

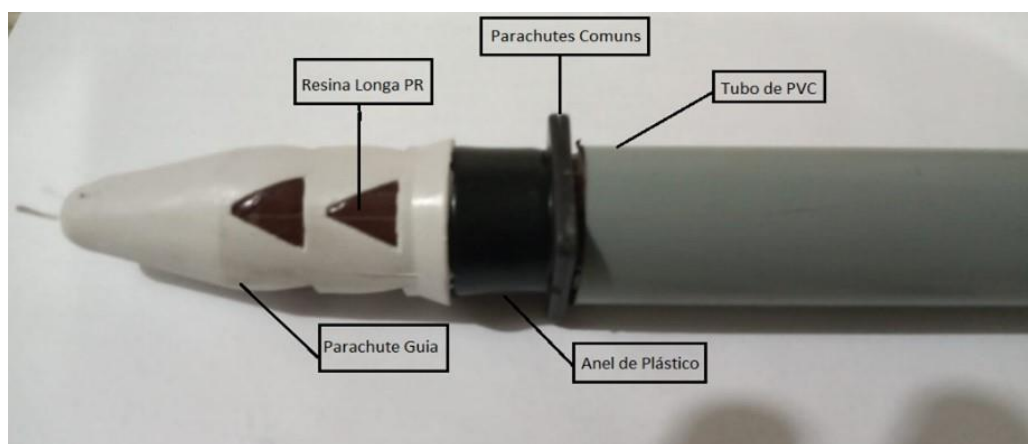


Fonte: Contribuição do autor

No caso estudado neste trabalho, a empresa colaboradora utiliza cartuchos de resina de cura super acelerada/lenta. O tempo de cura dos dois é diferente, o tempo de cura da resina super acelerada é de cerca de 30 a 50 segundos e o tempo final da reação é de cerca de 3 minutos. Por outro lado, os cartuchos de resina de cura lenta começa a reagir 12 minutos após a instalação, e o tempo final de cura termina após 35 minutos.

Os cartuchos de resina são dois componentes separados em compartimentos, possuem um filme de poliéster contendo a matriz de resina de um lado e o catalisador do outro. Para manter o cartucho nas perfurações ascendentes verticais e diagonais, são utilizados parachutes comuns, complementados por anéis plásticos. Conforme ilustrado na figura Figura 22.

Figura 22 - Esquemática dos componentes de resina.

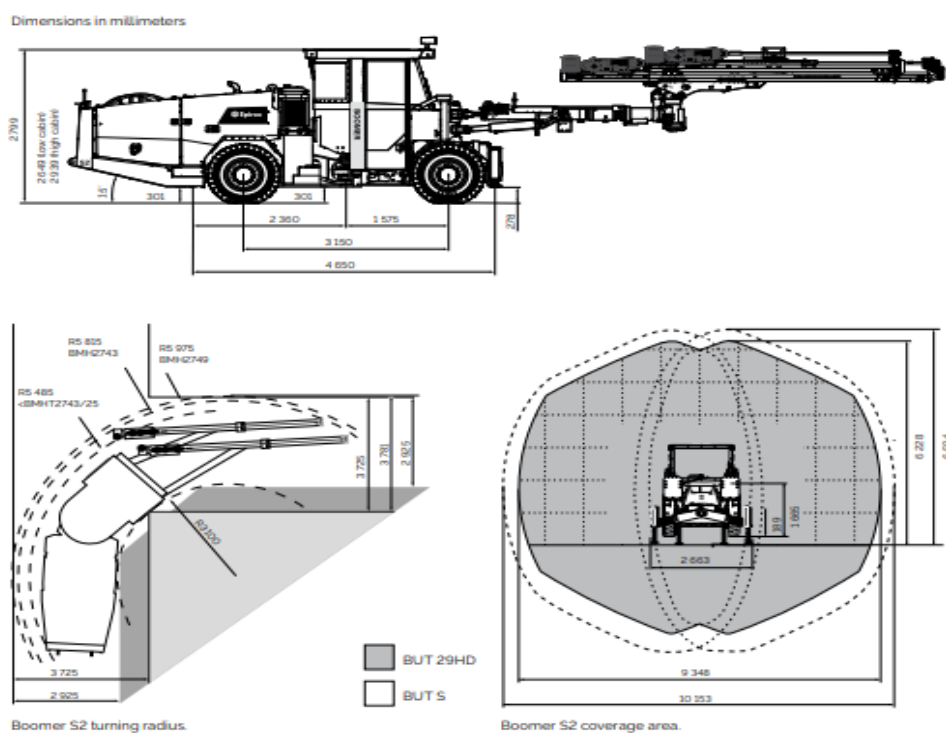


Fonte: (Rock Support, 2022)

9.1.2 Equipamento de Resinamento Mecânico

O equipamento utilizado é um modelo Atlas Copco Jumbo Boomer S2, conforme Figura 23. Controlado hidraulicamente e acionado por motor diesel, possui 2 lanças para realizar suas atividades mecanizadas. O material de perfuração utilizado é uma haste de perfuração R32/R25, de comprimento é de 2,70 metros e o comprimento máximo de perfuração efetivo é de 2,40 m. Sendo o recomendado é 2,30 metros. A broca (bit) utilizado tem o diâmetro de 35 mm, e também foram utilizados uma luva R38/R32.

Figura 23 - Jumbo modelo tipo Boomer S2.



Fonte: Epiroc, 2022.

9.1.3 Chave de Aplicação do Tirante

A chave de aplicação do tirante e para realizar o torqueamento e é acoplada a partir da perfuratriz do jumbo, esta chave pode ser usada para reapertar o tirante após a remoção de chocos sem a necessidade do retrabalho da operação. Conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Chave de aplicação do tirante. a) Chave de aplicação do tirante acoplada na perfuratriz. b) Chave de aplicação de tirante realizando o torqueamento.



Fonte: Contribuição do autor.

9.1.4 Tubo de Resinamento

O tubo de resinamento é acoplado na chave de aplicação do tirante e serve para inserir a resina ao longo do furo, o tubo tem 30 mm de diâmetro interno, 32,5 mm de diâmetro externo e 3 metros de comprimento. Sendo que este deve estar marcado com 2,10 metros de comprimento. Conforme ilustrado Figura 25.

O processo de resinamento também pode ser realizado de forma manual (a) ou utilizando uma plataforma de elevação. Porém com o uso do equipamento tipo jumbo (b) este processo se torna mecanizado, oferecendo maior produtividade e segurança dos colaboradores, evitando a exposição do colaborador na frente de serviço. Conforme, Figura 26.

Figura 25 - Tubo de resinação.



Fonte: Contribuição do autor.

Figura 26 – Resinamento de furo para atirantamento. a) Resinamento Manual; b) Resinamento mecanizado.



Fonte: Contribuição do autor.

9.1.5 Controle de Qualidade do Atirantamento

A eficiência da instalação é verificada pelo teste de arrancamento, aplicado nos tirantes já instalados, que determina a capacidade de carga de cada parafuso instalado.

Para se identificar os mecanismos de falhas, em ensaios de arrancamento, é necessário entender o comportamento do manômetro, durante a execução, do ensaio, conforme ilustrado na Figura 27. Já na Figura 28, demonstra como o teste de arrancamento é realizado em tirantes de teto e laterais da galeria.

Figura 27 - Detalhe do comportamento dos manômetros durante teste de arrancamento (Pull test) – valores em Ton. a) Ruptura interface resina / rocha. b) Ruptura na interface tirante / resina.

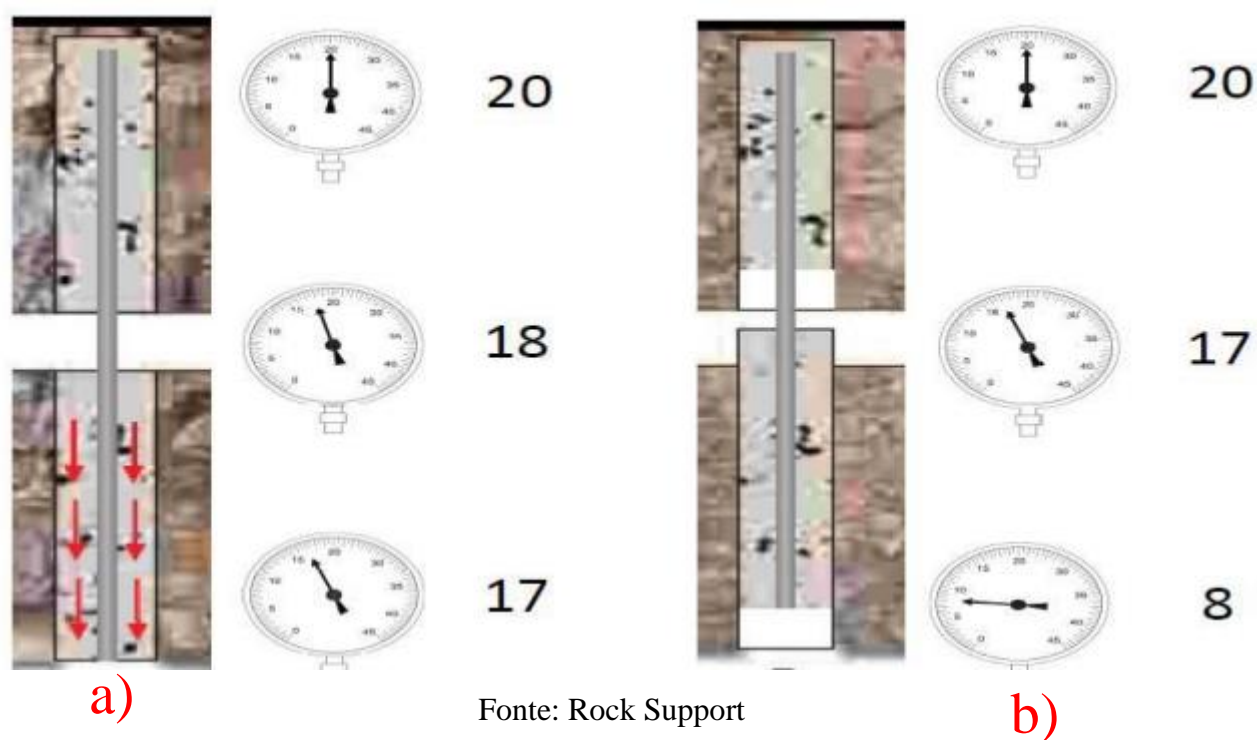


Figura 28 - Execução de um ensaio de arrancamento.



Fonte: Contribuição do autor.

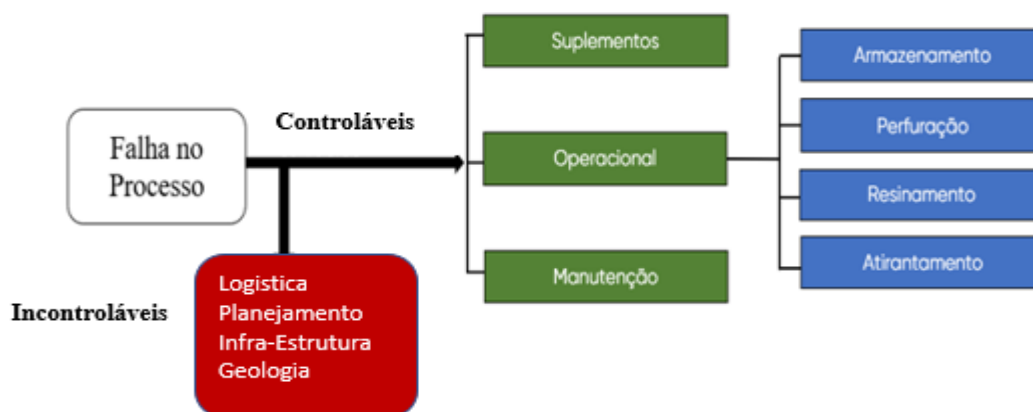
10 METODOLOGIA

Para melhor ilustrar a operação de atirantamento nas frentes de desenvolvimento da Mina Paraíba, um diagnóstico operacional, referente a todas as atividades, foi executado.

Além disso, Segundo Gontijo, A. *et al.* (2016), para entender o desempenho dos sistemas de ancoragem utilizados, análises de comportamento devem associadas em pelo menos três parâmetros.

Estes parâmetros devem determinar a eficiência do sistema de reforço adotado, e devem ser considerados os parâmetros controláveis e não controláveis. Como as operações de mineração não modificam parâmetros incontroláveis, como por exemplo, a geologia, oportunidades potenciais de melhoria estão dentro de parâmetros controláveis, são elas: Armazenamento, Perfuração, Resinamento e Atirantamento. Na atividade, para mapear as principais falhas do processo, foi elaborado o fluxograma mostrado na Figura 29, demonstrando os parâmetros das variáveis que são controláveis nas operações e o nível de criticidade de cada uma, exposto na Tabela 4.

Figura 29 - Variáveis controláveis e não controláveis durante a atividade de operação do atirantamento.



Fonte: (Adaptado de Gontijo, 2016)


Tabela 4 - Variáveis controláveis na atividade de atirantamento e seus níveis de criticidade.

Parâmetros	Variáveis Controladas	Criticidade	
		Baixa	Alta
Armazenamento	Armazenamento de Resinas no Almojarifado		X
	Armazenamento de Resinas no Interior da Mina		X
Perfuração	Diâmetro do Furo		X
	Comprimento do Furo		X
	Desvio do Furo		X
	Malha de Perfuração		X
	Inclinação do Equipamento		X
	Limpeza do Furo	X	
Resinamento	Qualidade dos Cartuchos		X
	Diâmetro dos Cartuchos		X
	Comprimento dos Cartuchos		X
	Quantidade de Cartuchos		X
Atirantamento	Rotação		X
	Tempo de Mistura		X
	Sentido da Mistura		X
	Torqueamento do Tirante		X
	Pressão de Torqueamento		X
	Tempo de Torque após a Instalação do Tirante		X
	Comprimento do Tirante		X
	Diâmetro do Tirante		X
	Design do Tirante		X

Após submeter a análise de qualidade do atirantamento da mina, foi constatado diversos eventos, que vão desde o armazenamento até a instalação dos tirantes que podem influenciar no sistema de reforço que poderá não ser eficaz quando solicitado o esforço, assim como a perda de tempo operacional relacionado ao retrabalho da operação como o ônus financeiro causado a empresa e principalmente, a segurança.

Com o intuito de criar um controle de qualidade na operação de instalação dos tirantes, foi desenvolvido um *check list* para controle destas atividades, que estão distribuídas da seguinte forma: armazenamento, perfuração, resinamento e instalação, que devem ser seguidos para que a qualidade na operação esteja nos padrões ótimos de qualidade operacional. Conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Check list para controle de qualidade operacional.

CHECK LIST ATIRANTAMENTO - PA Gold				
				
Inspetor:		Data:		
Operador:		Equipamento		
Local:				
Armazenamento	1. Os cartuchos de resinas estão em locais arejados e sem umidade?	S	N	NA
	2. Os cartuchos estão estocados com um máximo de 5 caixas sobrepostas?	S	N	NA
Perfuração	3. A haste de perfuração está marcada com 2,3 m? (jumbo)	S	N	NA
	4. O diâmetro do bit utilizado é de 35mm?	S	N	NA
	5. O equipamento está posicionado de forma adequada a operação?	S	N	NA
	6. A malha de perfuração está adequada seguindo os padrões da galeria?	S	N	NA
	7. O operador está inclinando a lança ao máximo para realizar a operação?	S	N	NA
	8. O operador está realizando a troca do bit 35mm após 5 furos?	S	N	NA
	9. O operador está realizando a limpeza do furo após a perfuração?	S	N	NA
Resinamento	10. O tubo de resinamento está marcado com 2,1 m? (jumbo)	S	N	NA
	11. Os cartuchos de resinas utilizados estão dentro do prazo de validade?	S	N	NA
	12. A consistência dos cartuchos de resina está adequada?	S	N	NA
	13. Os furos foram completamente preenchidos com resina?	S	N	NA
Instalação de Tirante	14. O diâmetro do tirante utilizado é de 22mm?	S	N	NA
	15. Foi realizado torque em um tirante pré-instalado para aperto da chave? (jumbo)	S	N	NA
	16. O acoplamento do batedor na porca está correto?	S	N	NA
	17. A mistura está sendo realizada de forma homogênea da base ao fundo?	S	N	NA
	18. A mistura está sendo realizada dentro do tempo de 30 - 50 seg?	S	N	NA
	19. O torqueamento foi realizado em todos os tirantes?	S	N	NA
	20. O tempo para o torque está entre 50 segundos a 12 min após a instalação do tirante?	S	N	NA
	21. Verificação da pressão de torqueamento 80 -150 bar (Manômetro de rotação)	S	N	NA
Obs. É importante averiguar que todas as atividades estejam sendo realizadas em área contida e com energia zero				
Observações				

O controle de qualidade desenvolvido através deste seguinte trabalho está pautado da seguinte forma:

10.1 Controle de Qualidade

10.1.1 Armazenamento

- De acordo com a empresa fornecedora da resina, *Rock Support*, as caixas de resinas devem estar em locais secos e arejados, para que não interfira na qualidade da resina. Como a reação da resina, em seu processo de cristalização, é exotérmico, ou seja, a temperatura e umidade do local de estoque e manuseios são fatores condicionantes, que

devem ser gerenciáveis, eliminando a possibilidade de falhas prematuras e/ou redução de vida útil pré-definida do fabricante.

- 2 A mesma deve estar com no máximo 5 caixas sobrepostas, desde a logística até o armazenamento da mesma. Pois, a sobrecarga de material depositados encima das caixas de cartucho de resina, pode acabar estourando a fina película de poliéster, em consequência disto, a resina deve ser descartada. Porque a resina começa a reação, mesmo antes de ser utilizada e acaba acontecendo o enrigimento da resina.

10.1.2 Perfuração

- 3 A haste de perfuração deve estar marcada com 2,3 metros, garantindo assim, o limite máximo de perfuração, visando atingir o comprimento do mesmo. A vantagem da haste de perfuração estar marcada, e a garantia para que não haja a sobrefuração da profundidade do furo, menor desgaste do bit de perfuração, melhor produtividade do equipamento e a maximização do tempo operacional.
- 4 O diâmetro do bit utilizado deve ser de 35 mm, o que contribui para a transferência de carga e a garantia da aderência do conjunto, tirante (diâmetro 22mm nominal), resina e rocha.
- 5 O equipamento deve estar posicionado de forma adequada a operação e a frente de serviço, com as lanças do jumbo sempre em local com conteção de teto e que não haja presença ou risco de queda de choco para o auxiliar que irá executar a atividade de montagem e desmontagem dos materiais do atirantamento, assim como qualquer outra atividade que precisar ser realizada.
- 6 A malha de perfuração deve estar adequada seguindo os padrões da galeria, esta malha de perfuração deverá ser: Para rampas e desenvolvimentos primários, 1,5 x 1,5 metros do tipo “Pés de galinha”, com arranjo entre linhas 5x4x5 tirantes. Para galerias do tipo *Ore Drive*, 1,5 x 1,5 metros do tipo “Pés de galinha”, com arranjo entre linhas 3x2x3 tirantes. De acordo com a orientação e recomendação da geotécnia.
- 7 O operador deverá inclinar ao máximo para realização da operação de atirantamento, afim de garantir uma perfuração com ângulo mínimo de 70°.
- 8 O operador deverá realizar a troca do bit 35 mm após 5 furos, devido ao desgaste do diâmetro do bit e a garantia do preenchimento do volume do espaço anelar e a garantia

da inserção do tubo de resinação.

- 9 O operador deverá realizar a limpeza do furo após a perfuração, repassando a haste de perfuração com água acionada, no mínimo 2 vezes, para a garantia da desobstrução do furo.

10.1.3 Resinamento

- 10 O tubo de resinação deverá estar marcado com 2,1 metros, visando a garantir a percepção do limite máximo de introdução da resina no furo.
- 11 Os cartuchos de resina devem estar dentro do prazo de validade, para a garantia do sistema de reforço.
- 12 A consistência dos cartuchos de resina a serem utilizadas deve estar de forma adequada, verificando a integridade física e a fixação ideal dos parachutes.
- 13 Os furos devem estar completamente preenchidos com resina, afim de garantir a aderência dos elementos, tirante, resina e rocha.

10.1.4 Instalação dos Tirantes

- 14 O diâmetro do tirante utilizado deve ser de 22mm, afim de garantir o preenchimento do volume do espaço anelar.
- 15 O torque deve ser aplicado em um tirante pré-instalado para perto da chave, evitando que o batedor de tirante afrouxe durante a operação.
- 16 O acoplamento do batedor na porca deve estar correto.
- 17 A mistura deverá ser realizada de forma homogênea da base ao fundo, afim de garantir a trituração da película de poliéster que envolve o cartucho de resina.
- 18 A A mistura deve ser realizada dentro do tempo de 30 - 50 seg. Começando na coluna do furo, cerca de 20 segundos, e no fundo do furo esta mistura deve ser de 10 segundos, aproximadamente, no qual, deve-se espaçar a chapa em 10 cm do maciço rochoso e aumentar a rotação, para que a mistura seja eficaz para o processo de cura da resina. Ao final da mistura, deve-se avançar a chapa de forma que encoste no maciço rochoso e

esperar seu tempo de gel, que é de aproximadamente 40 segundos e em seguida a retirada da chave de aplicação do tirante. Não podendo haver movimentos após o processo de cristalização da resina, que se inicia em 40 segundos até 1 minuto, a depender da presença ou não de água no furo.

- 19 torqueamento deve ser realizado em todos os tirantes, afim de garantir a qualidade da operação. O mesmo deve ser realizado em rodizio na linha do atirantamento.
- 20 O tempo para o torque deve estar entre 1 minuto até 12 min após a instalação do tirante. Para evitar a quebra da cristalização da resina rápida.
- 21 Verificação da pressão de torqueamento 80 -150 bar (Manômetro de rotação). Afim de certificar a eficácia da operação.

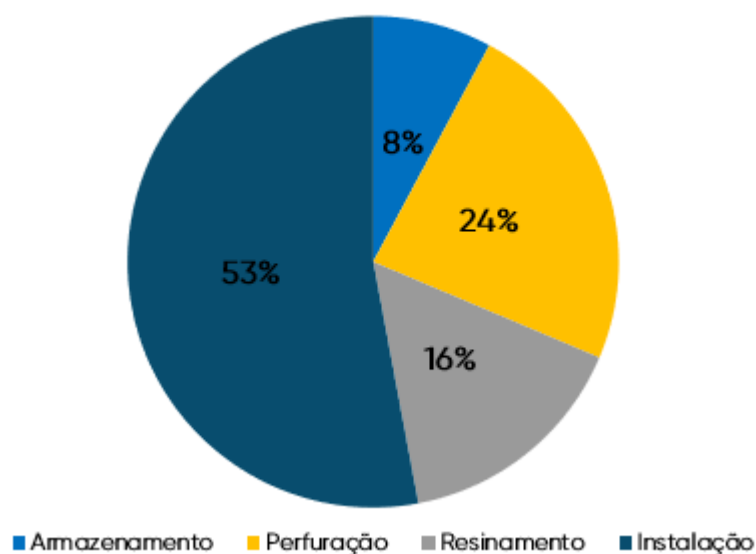
11 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados em campo o preenchimento de 19 *check list*, no qual resultaram no monitoramento de 108 eventos de atirantamento mecanizado em 9 frentes diferentes na mina subterrânea, para verificar as principais dificuldades operacionais e, identificar e/ou analisar possíveis falhas ou deficiências operacionais.

Abaixo, pode ser verificado o mapa das falhas observadas durante o preenchimento do *check list*, estas falhas estão destruídas desde a fase de armazenamento, perfuração, resinamento e instalação do tirante. Conforme ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Resumo das falhas

Falhas por fase do atirantamento



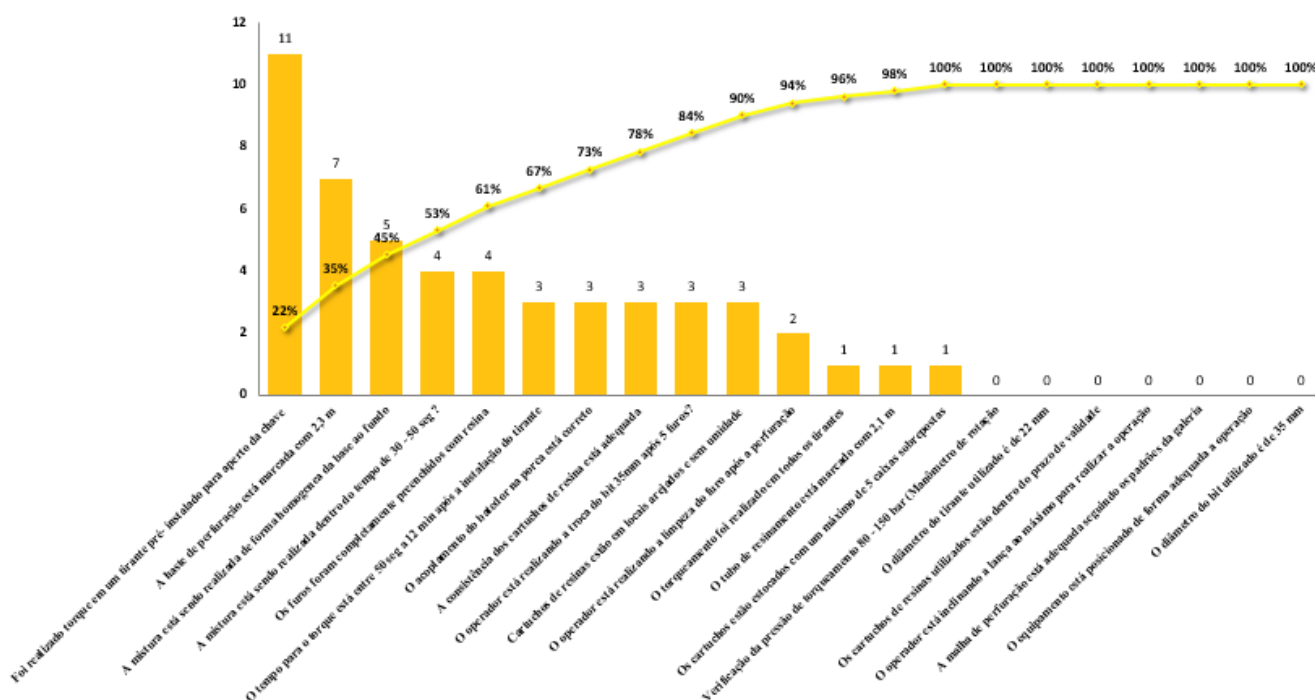
Fonte: Contribuição do autor

As principais ocorrências de falhas constatadas no preenchimento do *check list* durante a atividade, estão localizadas na atividade de instalação dos tirantes, representando assim, um percentual de 53%.

O Gráfico 2, trata-se de um gráfico de pareto com as ocorrências de todas as falhas observadas durante o preenchimento do *check list* em campo, destas, foram identificados no total 51 ocorrências de falhas ligadas a atividade de ancoragem realizadas com cartuchos com argamassa de resina, sendo as mais recorrentes o não aperto do batedor de tirantes em um tirante pré-instalado e a não marcação da

haste de perfuração. Sendo que os principais erros relacionados a esta mal prática está no afrouxamento da chave durante a operação e a sobrefuração do furo, causando, menor eficiência no sistema de contenção, maior desgaste do bits, menor produtividade da atividade e perda de tempo operacional. Estas falhas também podem ser observadas em modo tabela com suas respectivas quantidades de falhas por atividade e suas respectivas porcentagem de ocorrências, na Tabela 6.

Gráfico 2 - Distribuição das falhas no atirantamento.



Fonte: Contribuição do autor

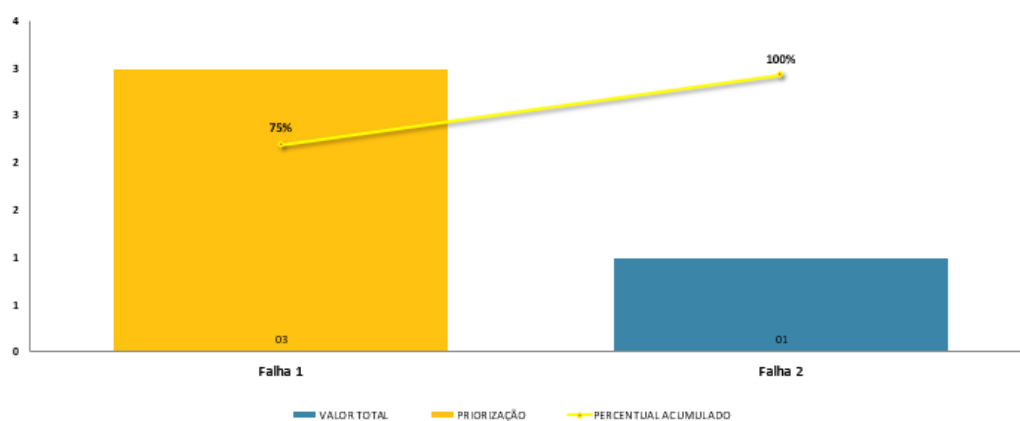
Tabela 6 - Resumo das falhas observadas.

Resumo de falhas observadas no check list	Quantidade de falhas	(%)
Foi realizado torque em um tirante pré- instalado para aperto da chave	11	21.57%
A haste de perfuração está marcada com 2,3 m	7	35.29%
A mistura está sendo realizada de forma homogênea da base ao fundo	5	45.10%
A mistura está sendo realizada dentro do tempo de 30 - 50 seg ?	4	52.94%
Os furos foram completamente preenchidos com resina	4	60.78%
Cartuchos de resinas estão em locais arejados e sem umidade	3	66.67%
O operador está realizando a troca do bit 35mm após 5 furos?	3	72.55%
A consistência dos cartuchos de resina está adequada	3	78.43%
O acoplamento do batedor na porca está correto	3	84.31%
O tempo para o torque está entre 50 seg a 12 min após a instalação do tirante	3	90.20%
O operador está realizando a limpeza do furo após a perfuração	2	94.12%
Os cartuchos estão estocados com um máximo de 5 caixas sobrepostas	1	96.08%
O tubo de resinamento está marcado com 2,1 m	1	98.04%
O torqueamento foi realizado em todos os tirantes	1	100.00%
O diâmetro do bit utilizado é de 35 mm	0	100.00%
O equipamento está posicionado de forma adequada a operação	0	100.00%
A malha de perfuração está adequada seguindo os padrões da galeria	0	100.00%
O operador está inclinando a lança ao máximo para realizar a operação	0	100.00%
Os cartuchos de resinas utilizados estão dentro do prazo de validade	0	100.00%
O diâmetro do tirante utilizado é de 22 mm	0	100.00%
Verificação da pressão de torqueamento 80 - 150 bar (Manômetro de rotação	0	100.00%

Fonte: Contribuição do autor

Para um melhor entendimento foi realizado uma estratificação das falhas por área, que podem ser observadas nos Gráfico 3, Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6.

Gráfico 3 - Estratificação por área – Armazenamento



Fonte: Contribuição do autor

Tabela 7 - Resumo de falhas observadas no armazenamento.

Resumo de falhas observadas no armazenamento	Quantidade de falhas	(%)
Cartuchos de resinas estão em locais arejados e sem umidade	3	75.00%
Os cartuchos estão estocados com um máximo de 5 caixas sobrepostas	1	100.00%

Fonte: Contribuição do autor

As ocorrências observadas na fase do armazenamento, foram: (falha 1), caixas de resina “jogadas” na frente de serviço e (falha 2) caixas empilhadas com mais de 5 caixas sobrepostas. Conforme ilustrado na Figura 30.

Figura 30 - Falhas de armazenamento da resina.

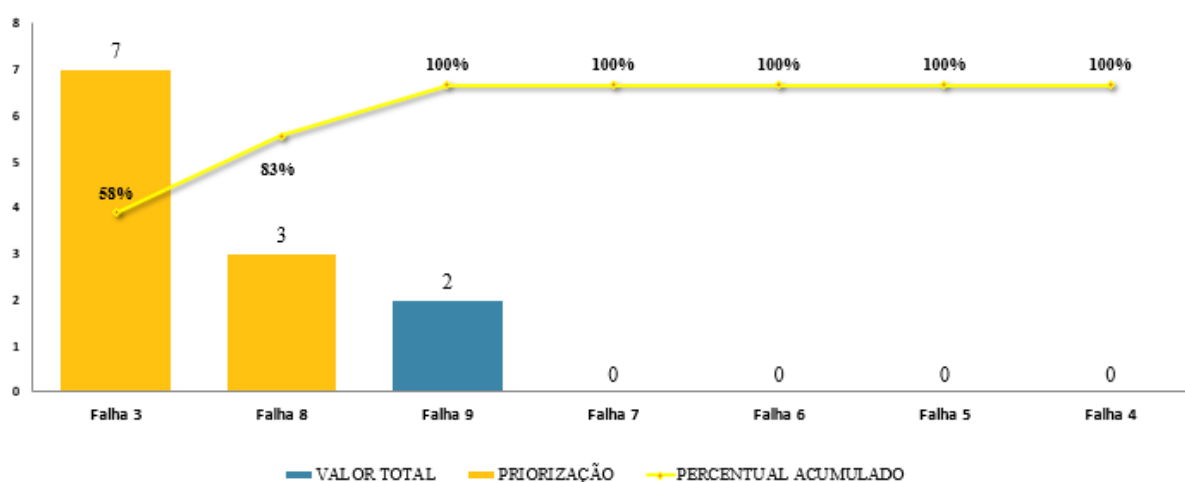


Fonte: Contribuição do autor

Os riscos atribuídos a estas condições são: sobrecarga de material depositado encima das caixas de cartucho da resina, podendo causar danos a integridade física do cartucho, danificando a película de poliéster e o enrigimento da resina. Causando o descarte e ônus financeiro a empresa. E as caixas de resinas não armazenadas em locais secos e arejados, nas frente de serviço, causando danos na qualidade da mesma.

Na fase de perfuração a principal ocorrência relacionada a atividade de atirantamento foi a falta da marcação da haste de perfuração para tirante, a não realização do rodizio do bit 35 mm, e a limpeza do furo, uma vez que e necessário o repasse da haste de perfuração com água acionada, no mínimo 2 vezes, para a garantia da desobstrução do furo. Estas falhas podem ser observadas mais em detalhes no Gráfico 4. Estas falhas também podem ser observadas em modo tabela com suas respectivas quantidades de falhas por atividade e suas respectivas porcentagem de ocorrências, na Tabela 8.

Gráfico 4 - Estratificação por área - Perfuração



Fonte: Contribuição do autor

Tabela 8 - Resumo de falhas observadas na perfuração.

Resumo de falhas observadas na Perfuração	Quantidade de falhas	(%)
A haste de perfuração está marcada com 2,3 m	7	58.33%
O operador está realizando a troca do bit 35mm após 5 furos?	3	60.00%
O operador está realizando a limpeza do furo após a perfuração	2	100.00%
O diâmetro do bit utilizado é de 35 mm	0	100.00%
O equipamento está posicionado de forma adequada a operação	0	100.00%
O operador está inclinando a lança ao máximo para realizar a operação	0	100.00%

Fonte: Contribuição do autor

Os riscos atribuídos a estas condições são: (falha 3) a sobrefuração maior que o recomendado de 2,3 metros, impactando na performance de confinamento, devido a falta de preenchimento, (falha 8) maior desgaste de bit é perda de capacidade de resistência em função da menor quantidade de resina no furo, e cartuchos de resina e a (falha 9) quebra do tubo de resinamento quando o furo está obstruído.

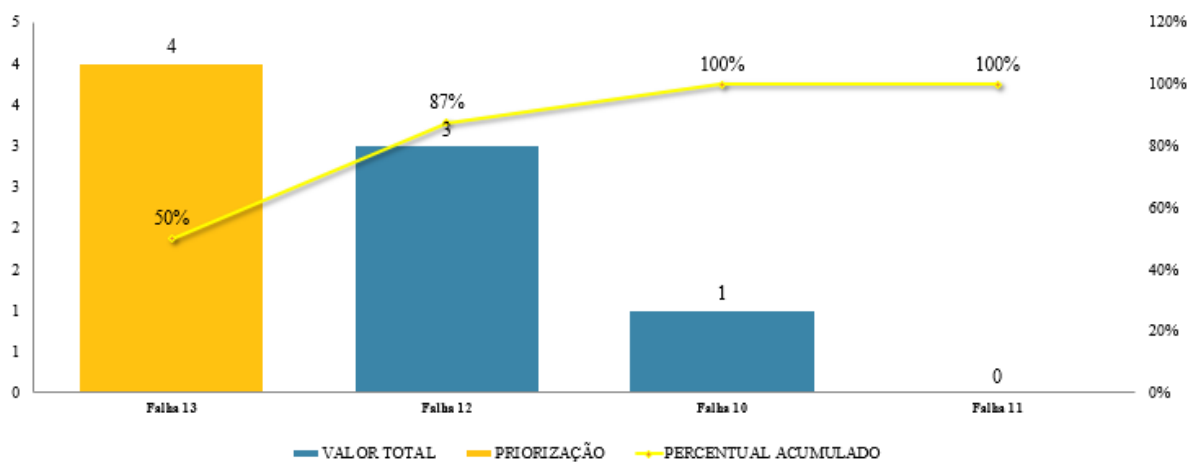
Figura 31 - Falhas na perfuração para a instalação do tirante.



Fonte: Contribuição do autor

Na fase de resinamento, os principais erros operacionais estão elucidados no Gráfico 5, as falhas encontradas durante a atividade em campo, estão distribuídas na não marcação do tubo de resinamento, na consistência dos cartuchos e furos não preenchidos totalmente com resina. Estas falhas também podem ser observadas em modo tabela com suas respectivas quantidades de falhas por atividade e suas respectivas porcentagem de ocorrências, na Tabela 9.

Gráfico 5 - Estratificação por área - Resinamento



Fonte: Contribuição do autor

Tabela 9 - Resumo de falhas observadas no resinamento.

Resumo de falhas observadas no resinamento	Quantidade de falhas	(%)
Os furos foram completamente preenchidos com resina	4	50.00%
A consistência dos cartuchos de resina está adequada	3	75.00%
O tubo de resinamento está marcado com 2,1 m	1	100.00%
Os cartuchos de resinas utilizados estão dentro do prazo de validade	0	100.00%

Fonte: Contribuição do autor

Os riscos atribuídos a estas condições são: a não garantia da percepção do limite máximo de introdução da resina no furo do preenchimento (falha 10 e 13), ficando cerca de 30 centímetros de resina para fora do furo de contenção, e conseqüentemente, a interferência na aderência dos elementos, tirante, resina e rocha, além da, inserção de resinas vazando no tubo de resinamento (falha 12), contribuindo a “colagem” da resina no tubo e a fixação da mesma no tubo de resinamento. Conforme podemos verificar na

Figura 32.

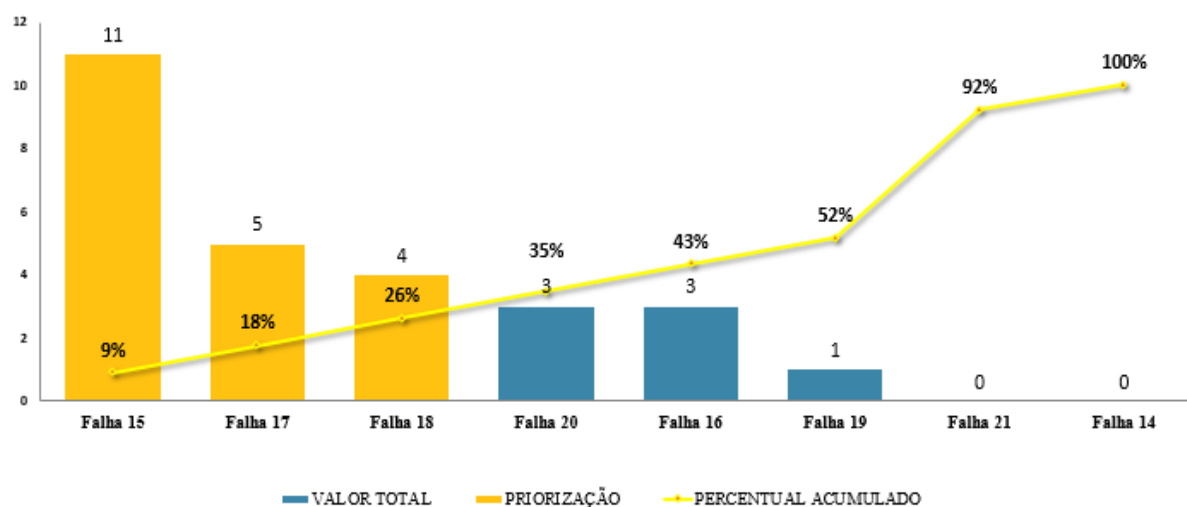
Figura 32 - Falhas operacionais na fase de resinamento.



Fonte: Contribuição do autor

Os principais erros encontrados na verificação da qualidade do atirantamento através do check list está na fase de instalação do tirante. Das 51 falhas observadas na operação do atirantamento, 27 delas estão nesta fase, o que corresponde 47,05%, de todas as falhas. Abaixo maior detalhamento das falhas. Estas falhas também podem ser observadas em modo tabela com suas respectivas quantidades de falhas por atividade e suas respectivas porcentagem de ocorrências, na Tabela 10.

Gráfico 6 - Estratificação por área - Instalação do Tirante



Fonte: Contribuição do autor

Tabela 10 - Resumo de falhas observadas na instalação do tirante.

Resumo de falhas observadas na instalação do tirante	Quantidade de falhas	(%)
Foi realizado torque em um tirante pré- instalado para aperto da chave	11	40.74%
A mistura está sendo realizada de forma homogênea da base ao fundo	5	31.25%
A mistura está sendo realizada dentro do tempo de 30 - 50 seg ?	4	36.36%
O acoplamento do batedor na porca está correto	3	42.86%
O tempo para o torque está entre 50 seg a 12 min após a instalação do tirante	3	75.00%
O torqueamento foi realizado em todos os tirantes	1	100.00%
O diâmetro do tirante utilizado é de 22 mm	0	100.00%
Verificação da pressão de torqueamento 80 - 150 bar (Manômetro de rotação)	0	100.00%

Fonte: Contribuição do autor

Estas falhas estão distribuídas no aperto da chave de instalação do tirante em um tirante pré-instalado (falha 15), no acoplamento do batedor na porca (falha 16), causado pela utilização de batedor de tirante com a rosca explanada, na homogenização da mistura da resina da base ao fundo do furo (falha 17), sendo o tempo realizado inferior ao recomendado, cerca de 20 segundos na coluna total do furo e 10 segundos de mistura no fundo do furo, o mesmo vale para o tempo de mistura do catalizador e da base de resina (falha 18), inferior a 30 – 50 segundos, na não realização do torque em todos os tirantes (falha 19), e no tempo para a realização do torque superior ao recomendado, acima de 12 min (falha 20). Na Figura 33, podemos observar um dos motivos das falhas na etapa de instalação dos tirantes no sistema de atirantamento da mina.

Figura 33 - Falha no acoplamento do batedor no tirante.



Fonte: Contribuição do autor

Quase todas as falhas encontradas na fase de instalação do tirante, parte do pressuposto de como o acoplador do batedor de tirante ou chave de torque está instalado, pois se acoplado se maneira incorreta poderá resultar em falhas em quase todo o processo de instalação dos tirantes. Por exemplo: o aperto da chave de torque em um tirante pré-instalado, traz ganhos de produtividade e eficiência da atividade, uma vez que, a chave ao rotacionar para realizar o movimento da instalação do tirante e a trituração da película de resina, a mesma corre o risco de afrouxar na perfuratriz e se soltar durante a

atividade de instalação do tirante, impactando no tempo de mistura, o que interfere na mistura do catalizador e da base de resina e em um maior gasto de tempo operacional da atividade. Assim como, no tempo de gel ao se desprender da perfuratriz.

Como algumas falhas de âmbito controláveis com criticidade elevada foram observadas, foi possível propor algumas soluções em curto prazo e médio prazo, como: falta da marcação da haste de perfuração, revisão do procedimento de perfuração mecanizado com equipamento tipo jumbo e a marcação da chapa do tirante por letra, possibilitando a identificação de possíveis erros constatados no teste de arrancamento após a instalação dos tirantes, possibilitando um diálogo com a equipe de operação mais direcionado. Conforme Figura 34.

Figura 34 - Marcação da chapa do tirante por letra.



Fonte: Contribuição do autor

11.1 Ensaios de Campo

Afim de, iniciar estudos mais detalhados sobre o sistema de contenção da mina e passar a entender o comportamento das ancoragens químicas a base de resina de poliéster, nas particularidades do maciço rochoso, ensaios de arrancamento foram executados com a intenção de avaliar a transferência de carga do conjunto.

Foram acompanhados 40 testes de arranque na mina Paraíba. O teste consiste em exercer uma

força axial no sentido de arrancamento dos tirantes testados. Quando o tirante é capaz de resistir uma força de 20 toneladas sem que ele ceda o resultado é interpretado como eficiente, caso contrário o resultado será ineficiente. É esperado que o tirante instalado seja capaz de suportar esforços de até 28 toneladas sem a observação de falha, de acordo com o fornecedor.

Os testes realizados ocorreram em zoneamentos de maciço rochoso granítico/gnaiss competente, de qualidade de maciço rochoso de RMR = 81 - 100, ou classe 1. A

Tabela 11, apresenta os resultados dos testes.

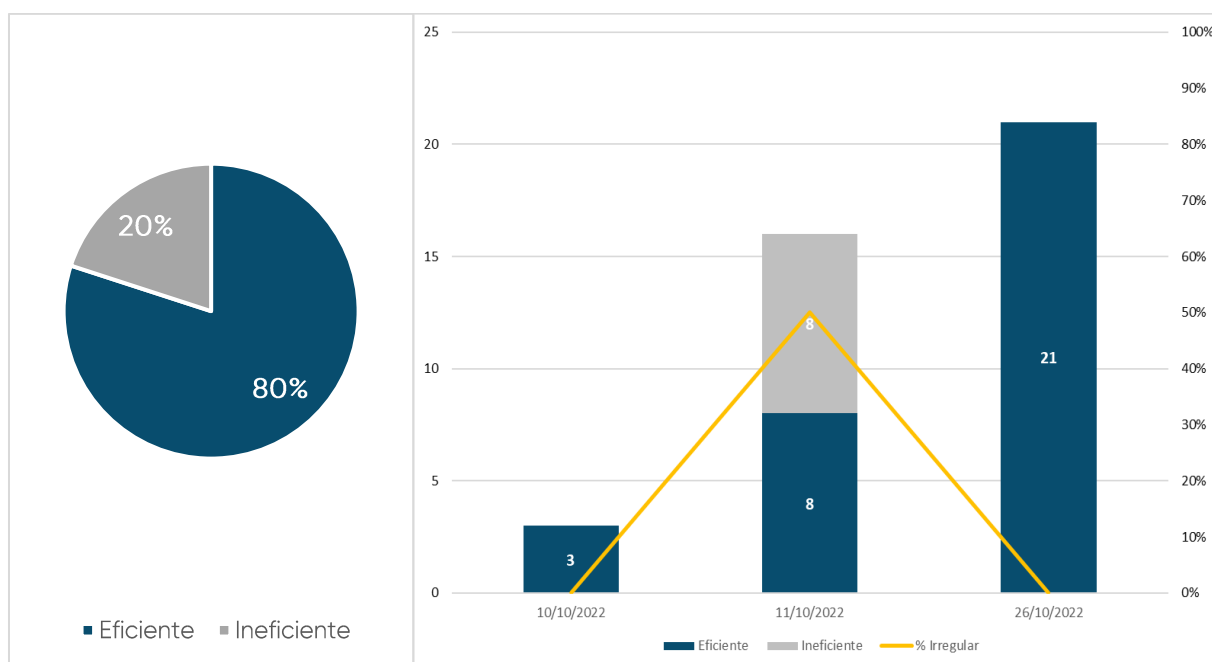
Tabela 11 - Resultados dos teste de arranque na Mina Paraíba.

Ensaio de Teste de Arranque				
Local	Data	Eficiente	Ineficiente	Ineficiente (%)
1.4 PB LD	10/10/2022	3	0	0%
1.4 PB LD	11/10/2022	8	8	50%
1.2 BR LE	26/10/2022	5	0	0%
1.2 BR LD	26/10/2022	16	0	0%

Os resultados demonstraram que, 20% do total de 40 ensaios realizados, ou seja, 8 deles apresentaram resistência ao esforço axial inferior ao limite estabelecido (20 Bar), e 32 deles, apresentaram resultados satisfatórios, representando assim, 80% dos testes. Conforme podemos verificar no Gráfico 7.

É importante salientar que, os teste de arranque realizados dentre os dias 10/10 à 11/10/2022, não foram acompanhados através do controle de qualidade proposto neste trabalho. Já os testes realizados entre no dia 26/10/2022, 4 deles foram realizados em tirantes onde o controle de qualidade através do *check list* havia sido realizado, representando assim uma conformidade de 100% dos tirantes analisados.

Gráfico 7 - Resumo de inconformidade de ensaios de arrancamento em tirantes.



Portanto, é importante a verificação em campo do preenchimento do *check list* para o controle da qualidade do atirantamento na mina, sendo que, o teste de arranque não lhe fornecerá dados da causa raiz da falha, então, uma das melhores formas do controle de qualidade da atividade está relacionada ao preenchimento do *check-list*, para tanto, estes devem ser seguidos conforme os parâmetros descritos na Tabela 5, para a qualidade ótima da atividade.

12 CONCLUSÃO

Segundo Gontijo et. al. 2016, desde que surgiram os cartuchos de resina para sistemas de ancoragens químicas no mercado de mineração, falhas relacionadas à influência do diâmetro de perfuração, tempo de torque, tempo de mistura, entre outras, foram observadas em todo o mundo, o que alertou aos profissionais estudar a metodologia mais em detalhes, fornecendo assim melhorias para o sistema.

Este trabalho buscou trazer um diagnóstico operacional a cerca das principais dificuldades que cercam a operação de atirantamento mecanizado em um sistema de ancoragem utilizando resinas de poliéster. Um estudo prévio das variáveis que podem influenciar no sistema foi realizado e isto possibilitou a construção de um *Check list* para verificação da qualidade operacional da atividade.

Atráves do acompanhamento da atividade em campo, foram observadas falhas que vão desde o armazenamento dos cartuchos de resina até a fase de instalação dos tirantes, para o sistema de contenção da mina, o possibilitou-se compreender algumas dificuldades que acercam a atividade em questão, além de discernir a origem das falhas.

Além disso, podemos destacar que, testes de arranque foram submetidos a tirantes onde antes não havia sido acompanhado o controle de qualidade através do *check list*, destes 50% deles provaram ser ineficazes, e onde o controle da atividade através do *check list* havia sido realizado 100% deles provaram serem eficazes, ou seja, suportando uma carga axial superior a 20 Bar, como recomendado. O que leva a crer que o controle de qualidade da atividade de atirantamento através do *check list* é eficaz. Vale destacar também, que em regiões onde foi constatadas falhas através do *check list* o percentual de falhas nos ensaios de arrancamento deve ser maior do que em regiões onde o procedimento foi seguido corretamente.

Atráves dos acompanhamentos realizados em campo foram possíveis identificar algumas falhas que já foram possíveis de serem solucionadas a curto prazo, como: falta da marcação da haste de perfuração, revisão do procedimento de perfuração mecanizado com equipamento tipo jumbo e a marcação da chapa do tirante por letra, possibilitando a identificação de possíveis erros constatados no teste de arrancamento após a instalação dos tirantes, possibilitando um diálogo com a equipe de operação mais direcionado.

Como algumas falhas de âmbito controláveis com criticidade elevada foram observadas, foi possível idealizar algumas propostas a serem avaliadas em curto prazo:

- Adequação dos cartuchos de resina no sistema PEPS ou *FIFO*, de modo que, resinas

mais antigas sejam usadas primeiro, ou seja, primeira que entra, primeira que sai;

- Disponibilização de estoque mínimo de ferramentas de perfuração e produtos de contenção em locais ventilados e estratégicos no interior da mina, próximos à frente de desenvolvimento;
- Continuidade dos teste de arrancamento para identificação das áreas contidas com tirantes ineficazes;
- Controle da qualidade física dos batedores de tirantes semanal;
- Realização de teste de batedores de tirantes utilizando outras marcas;
- Controle de rodizio de bits em litotipos diferentes.

13 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É entendível como um trabalho promissor a realização de ensaios, com metodologias consagradas SEPT (*Short Encapsulated Pull Test*) em outros litotipos em outras qualidades de maciço rochoso, buscando se conhecer uma transferência de carga por litotipo/maciço rochoso, de forma a entender o comportamento de uma ancoragem química por comprimento em cada particularidade.

Para um entendimento mais completo a respeito dos esforços nos tirantes, sugere-se estudar mais afincado o GRIP Factor para todas as litologias da Mina, buscando avaliar se existe variação de resistência de aderência do sistema de atirantamento entre os litotipos.

Recomenda-se instrumentar o sistema de atirantamento para entender os reais esforços que os mesmos estão recebendo do maciço rochoso e quantificar os pontos exatos dessa transferência de carga, buscando calibrar o dimensionamento de ancoragem utilizado que é atualmente definido por classificações geomecânicas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, AA. DSI Underground. Comunicação na Semana Integrada de Engenharia. UFOP. 2018.
- ASTM. Standard test method for rock bolt anchor pull test. West Conshohocken: [s.n.]. 2014.
- Aziz e H. Jalalifar, “Investigation into the transfer mechanism of loads in grouted bolts,” Australian Geomechanics Vol 40 No 2, pp. 99 - 112, 2005.
- Barbosa, E. S. Avaliação do suporte com cabos de aço na Mina Cuiabá (Sabará/MG). Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO. 2008.
- Bieniawski, Z. T. Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling, Rotterdam/Boston: A. A. Balkema Publisher, 1984. 272 p.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T. (1985). Rock mechanics for underground mining. Allen and Unwin. London. 527 p.
- BRADY, B. H. G.; BROWN, E. T. Rock mechanics for underground mining. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2006. 626 p.
- CAO, C.; REN, T.; COOK, C. D. Introducing aggregate into grouting material and its influence on load transfer of the rock bolting system. International Journal of Mining Science and Technology, v. 24, p. 325 - 328, 2014.
- Daemen, J.J.K 1977. Problems in tunnel support mechanics. Underground Space 1: 163-172
- DIAS, T.G.S. (2012). Metodologia de Avaliação de Sistemas de Suporte em Concreto Projetado –Estudo de Caso em Poços de Grande Diâmetro. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-219/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100 p.
- GONTIJO, Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas – SBMR 2016 Mecânica das Rochas e Engenharia de Rochas para Inovação e Desenvolvimento Conferência Especializada ISRM 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © CBMR/ABMS e ISRM, 2016
- GONTIJO, A. Proposta e desenvolvimento de um sistema de monitoramento contínuo de convergência em ambientes subterrâneos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 100. 2017.
- GONTIJO, Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas – SBMR 2018 Engenharia de Rochas no Desenvolvimento Urbano Conferência Especializada ISRM 28 de Agosto a 01 de Setembro, Salvador, Bahia, Brasil © CBMR/ABMS e ISRM, 2018.
- Hadjigeorgiou J.;Potvin Y. (1973). Hard-Rock Ground Controlwith Steel Mesh and

Shotcrete. Chapter 8.6, Mining Engineering Handbook, 3rd edition; published by society of mining, metallurgy, and Exploration; 2011.

HOEK, E.; WOOD, D. F. Support in underground hard rock mines. Underground Support Systems. Montreal: [s.n.]. 1987. p. 1-6.

HOEK, E.; KAISER, P. K.; BAWDEN, W. F. Support of underground excavations in hard rock. 1. ed. Londres: CRC Press, 1995.

Hutchinson, D.J.; Diederichs, M.S. Cablebolting in Underground Mines. Richmond: Bitech Publishers Ltd, 1996.

Kilic, E. Yasar e A. Celik, "Effect of grout properties on the pull-out load capacity of fully grouted," Tunnelling and Underground Space Technology, pp. 355-362, 2002.

KRISTJÁNSSON, G. Rock bolting and pull out test on rebar bolts. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, p. 126. 2014.

Muir Wood, A.M. 1993. Development of tunnel support philosophy. In J.A. Hudson, Comprehensive Rock Engineering 4: 349-368. Oxford: Pergamon.

Pacher, F. 1964. Deformationsmessungen im Versuchstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgsverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues. Felsmech u. Ing. Geol., Suppl IV, 149 -161.

PRIESTER, M.; HENTSCHL, T.; BENFHN, B. Tools for Mining: Techniques and processes for small scale mining. Braunschweig: Vieweg, 1993. 537 p.

SILVA, J. M.; LIMAS, C. A.; TERRA, K. L. M. Tendências na sustentação de minas subterrâneas. Brasil Mineral, São Paulo, n. 168, p. 50 - 56, 1998.

SILVA, J. M. Ancoragens, Estabilidade de Escavações Subterrâneas. DEMIN/EM/UFOP. 2018.

SILVEIRA, T. Técnicas de sustentação em minas subterrâneas (Noções gerais). Ouro Preto: [s.n.], 1987.

SOLOTRAT. Túnel NATM. 2015. Disponível em: http://www.solotrat.com.br/dados/pt_ManTunelNATM2015.pdf

Terzaghi, K. 1946. Rock defects and loads on tunnel supports. In R.J Proctor & T.L White, Rock Tunnelling with Steel Supports, 15 -99. Youngstown, Ohio: The Commercial Shearing & Stamping Co.

Thompson, E. Villaescusa e C. Windsor, "Ground Support Terminology and Classification: An Update," Geotechnical and Geological Engineering, vol. 30, nº 3, p. 553-580, 2012.

Tully, "Rock Bolt Reinforcement Systems for Coal Mine Roadways," Newcastle University, 1987.

Villaescusa, R. Varden e R. Hassel, "Quantifying the performance of resin anchored rock bolts in the Australian underground hard rock mining industry," International Journal of Rock Mechanics &

Mining Sciences, 2007.

Windsor, C. R. and Thompson, A. G. (1993) Rock reinforcement –technology, testing, design and evaluation. *Comprehensive Rock Engineering* (eds J. A. Hudson, E. T. Brown, E. Hoek and C. Fairhurst), 4:451–84. Pergamon: Oxford.