

DIAGNÓSTICO E ANÁLISE TÉCNICA DA OPERAÇÃO DE ATIRANTAMENTO MECANIZADO UTILIZANDO JUMBO E CARTUCHOS DE RESINA LONGA

Arthur Resende Matos, MecRoc Engenharia, arthur.matos@mecroc.com.br

Alexandre Assunção Gontijo, MecRoc Engenharia, alexandre.gontijo@mecroc.com.br

Genivaldo Souza Santos, AngloGold Ashanti, gssantos@anglogoldashanti.com.br

Luciano Moreira de Godoi, AngloGold Ashanti, lgbrito@anglogoldashanti.com.br

Daniela Procópio de Alvarenga, AngloGold Ashanti, dpalvarenga@anglogoldashanti.com.br

Fábio Guedes Monteiro, AngloGold Ashanti, fgmonteiro@anglogoldashanti.com.br

Paulo Vitor de Oliveira Belo, AngloGold Ashanti, pvbelo@anglogoldashanti.com.br

RESUMO

Buscando sempre a melhoria contínua na estabilização do maciço rochoso em escavações subterrâneas, decidiu-se estudar maneiras de aumentar a eficiência da etapa de instalação do sistema de reforço. O objetivo principal deste trabalho é verificar a viabilidade técnica, operacional e econômica na aplicação de tirantes e cartuchos de resina longa, de forma mecanizada utilizando equipamento do tipo Jumbo.

Para tal, foram realizados testes em diferentes frentes de desenvolvimento na mineração Serra Grande da empresa AngloGold Ashanti. Os principais critérios de medição adotados durante a realização foram tempo de instalação do sistema de reforço, diminuição do risco em função de minimizar a exposição do operador e eficácia da metodologia através de um controle de qualidade.

O acompanhamento técnico das atividades e os relatos de boa parte dos operadores possibilitaram compreender dificuldades que cercam a operação de atirantamento e discernimento da origem das falhas, identificadas após a instalação dos tirantes, além de quantificar a produtividade da operação. Com isso, viabilizou-se melhorias implementadas durante o processo e constatação de oportunidades de aperfeiçoamento, denominadas nesse estudo como sugestões operacionais.

Palavras-chave: Tirantes, Cartuchos de Resina Longa, Suporte, Produtividade, Atirantamento Mecanizado, Análise de Risco.

ABSTRACT

Searching for the continuous improvement in the stabilization of the rock mass in underground excavations, it was decided to study ways to increase the efficiency of the stage of the reinforcement system installation. The main objective of this work is to verify the technical, operational and economical feasibility in the mechanically application of rock bolts and resin cartridges using Jumbo equipment.

To this end, tests were carried out on different development fronts at Serra Grande mining company AngloGold Ashanti. The main measurement criteria adopted during the implementation were the time of installation of the reinforcement system, reduction of risk due to minimizing operator exposure and efficiency of the methodology through a quality control.

The technical follow-up of the activities and the reports of many operators made it possible to understand the difficulties involved in the bolting and discernment of the origin of the faults, identified after the installation of the rock bolts, in addition to quantifying the productivity of the operation. With this, it enabled improvements implemented during the process and verification of upgrade opportunities, denominated in this study as operational suggestions.

Keywords: *Rock Bolts, Long Resin Cartridges, Rock Support, Productivity, Mechanized Bolting, Risk Analysis*

INTRODUÇÃO

Na mecânica de rochas, o objetivo do suporte e reforço de rochas é garantir que as escavações permaneçam seguras e abertas para seu tempo de vida útil necessário. A eficácia de uma estratégia de reforço é importante por duas razões principais: a segurança do pessoal e equipamentos, e realização do acesso mais econômico para extrair o minério. Para um maciço rochoso, um sistema de estabilização capaz de combinar o comportamento esperado é selecionado com base numa avaliação dos modos susceptíveis de rupturas, a rede de descontinuidades geológicas, intempéries e as condições de carregamento de tensões [1].

Considerando que a operação de instalação de tirantes com resina é uma atividade com grau de complexidade significativo, devido à quantidade de fatores condicionantes, é necessário que os colaboradores responsáveis pela operação de estabilização tenham conhecimento suficiente a fim de executar esse procedimento. Por isso, o controle de

qualidade e a orientação de especialistas são importantes para identificar possíveis falhas ou vícios operacionais, uma vez que estas se apresentarem, tal sistema de reforço poderá não ser eficaz quando solicitado esforço, além de acarretar perda de tempo operacional relacionado ao retrabalho e ônus financeiro à empresa.

O objetivo principal deste trabalho é verificar a viabilidade técnica, operacional e econômica na aplicação de tirantes e cartuchos de resina longa, de forma mecanizada utilizando equipamento do tipo Jumbo. Para tal, foram realizados testes em diferentes frentes de desenvolvimento na mineração Serra Grande da empresa AngloGold Ashanti.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cartuchos de Resinas

Foi utilizado o sistema de “Atirantamento com Resina Longa” da empresa *Rock Support*, que consiste em dois (02) cartuchos de resina, com dimensões de 28 mm de diâmetro e 1100 mm de comprimento (Figura 1), sendo estes de dois tempos de cura¹ distintos e grampeados em conjunto (Figura 2).



Figura 1 – Ilustração das dimensões dos cartuchos de resina *Rock Support* utilizados



Figura 2 – Cartuchos de reação rápida e reação lenta, emendados por um grampo

Os cartuchos de resina são um bi componente dividido internamente em dois compartimentos, separados por uma película de poliéster, sendo um para base de resina e um para catalisador. Para que os cartuchos se mantenham nas perfurações ascendentes, tanto vertical, quanto em diagonal, utilizou-se parachutes comuns, auxiliados com um anel de plástico, conforme ilustra a Figura 3.

¹ No caso em estudo utilizou-se cartuchos de cura rápida e lenta, os de cura rápida iniciam sua reação com **40 seg** e finalizam sua reação com **3 min**. Já os de cura lenta, iniciam sua reação após **12 min** de sua instalação e a finalizam posterior a **35 min**.

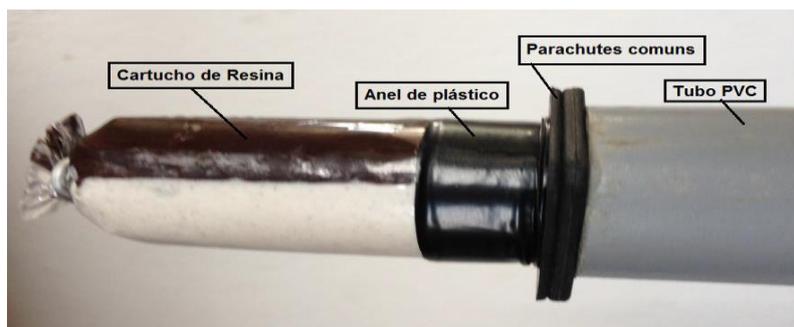


Figura 3 – Montagem cartucho e parachute

A Tabela 1 apresenta resultados de laboratório referente à resistência mecânica² à compressão uniaxial das resinas de poliéster, onde se conclui que, até 24h depois de homogeneizado da base com catalisador, tem-se uma resistência superior a 93% da resistência final.

Tabela 1 – Ensaio de resistência a compressão uniaxial (UCS) em resinas de poliéster

Identificação do corpo de prova	Quant. CPs	Idade	Data Moldagem	Data Ruptura	Carga (kN)	Fck (MPa)
TESTE 1	5	6 horas	04/02/2016 10:00 hs	4/2	48,6	24,75
		12 horas		4/2	51,3	26,13
		24 horas		5/2	56,4	28,72
		3 dias		7/2	57,6	29,34
		6 dias		10/2	60,7	30,91

Algumas premissas de manuseio com produtos e instalação foram seguidas, de acordo com recomendações do fabricante *Rock Support*:

- Consistência e verificação da validade dos cartuchos de resina³;
- Tempo de mistura mínimo de 15 segundos por seção da coluna, para garantir um número de rotações superior a 40, o que acarreta uma mistura homogênea entre catalisador e base de resina.

Tirantes

O perfil da barra e sua geometria é um fator importante no desempenho do tirante. O perfil do tirante influencia três fases importantes do processo de instalação e o desempenho esperado do sistema de ancoragem com resina. Estas três fases são:

- Qualidade da mistura de resina;
- Confinamento da resina;
- Capacidade de transferência de carga do sistema de ancoragem.

² A resistência mecânica da resina de poliéster varia de acordo com os agregados e a base de poliéster que compõe os cartuchos.

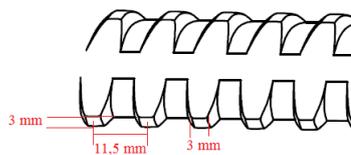
³ Validade dos cartuchos Rock Support: três meses.

No entanto, a influência da barra do tirante sobre o desempenho que se espera do sistema de ancoragem não é bem conhecida pelo usuário final. A maioria das informações sobre a fabricação e especificação de sistemas de ancoragem disponíveis no mercado é de propriedade intelectual dos criadores e / ou fornecedores e, portanto, há muito pouca informação disponível no domínio público.

As barras utilizadas pela equipe de operação da mina, ao contrário de vergalhões nervurados de construção, foram desenvolvidas, principalmente, para aplicações geotécnicas. São barras de rosca integral com design que permite uma maior aderência com o elemento de ligação (resina), aumentando consideravelmente a transferência de carga entre a barra e o maciço rochoso.

Como a mineração Serra Grande utiliza 03 tipos de tirantes na operação, de distintos *designs*, sendo ambos de diâmetro = 7/8" ou 22 mm (nominal) e comprimento 2400 mm, conforme ilustra a Figura 4 (a, b, c), os testes foram executados buscando abranger todas, para ter um comparativo entre resistência de aderência (GF) em comprimentos de ancoragens similares.

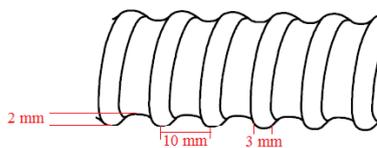
TIRANTE ROSCA HELICOIDAL - HEL. (*THREAD BAR*)



HELICOIDAL	GR60
Área Transversal	3,80 cm ²
Resistencia	6.500 kg/cm ²
Carga Total	24.700 kgf

Figura 4 (a) - Detalhe do perfil da barra HEL.

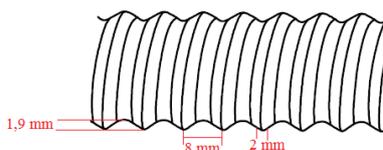
TIRANTE ROSCA REDONDO "INTEGRAL" – R.I. (*ALL THREAD BAR*)



REDONDO INTEGRAL	TOR25_TN
Área Transversal	3,88 cm ²
Resistencia	6.500 kg/cm ²
Carga Total	25.220 kgf

Figura 4 (b) - Detalhe do perfil da barra R.I.

TIRANTE ROSCA REDONDO "MODIFICADO" – R.M. (*ALL THREAD "MODIFIED" BAR*)



REDONDO MODIFICADO	
Área Transversal	3,88 cm ²
Resistencia	7.000 kg/cm ²
Carga Total	27.800 kgf

Figura 4 (c) - Detalhe do perfil da barra R.M.

As porcas utilizadas são semiesféricas com encaixe HEX 38 mm e a chapa as dimensões estão detalhadas abaixo na Figura 5.

- b – 150 mm
- D – 33 mm
- t – 4,76 mm
- h – 21,5 mm

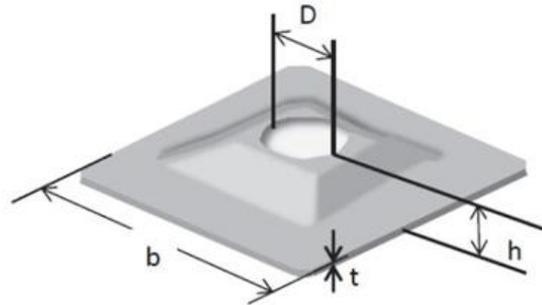


Figura 5 – Detalhe das dimensões da chapa utilizada no sistema de atirantamento

Chave de Aplicação de Tirantes

A chave de aplicação do tirante e torqueamento (Figura 6) foi adaptada para a realidade operacional com envolvimento dos próprios operadores, dando sugestões de melhorias, de forma que se levou em consideração parâmetros relevantes como produtividade e resistência para se chegar ao protótipo utilizado atualmente (Figura 7). A chave é adaptada a partir da haste de Simba de 1,5 m com uma fenda de 30 cm soldada a uma luva R38/R32, que permite utiliza-la para reaperto de tirantes após o abatimento de choco, não havendo necessidade de refazer a operação de atirantamento.



Figura 6 – Detalhe da chave inicial de testes



Figura 7 – Detalhe da chave com as melhorias implementadas

Equipamento Mecanizado

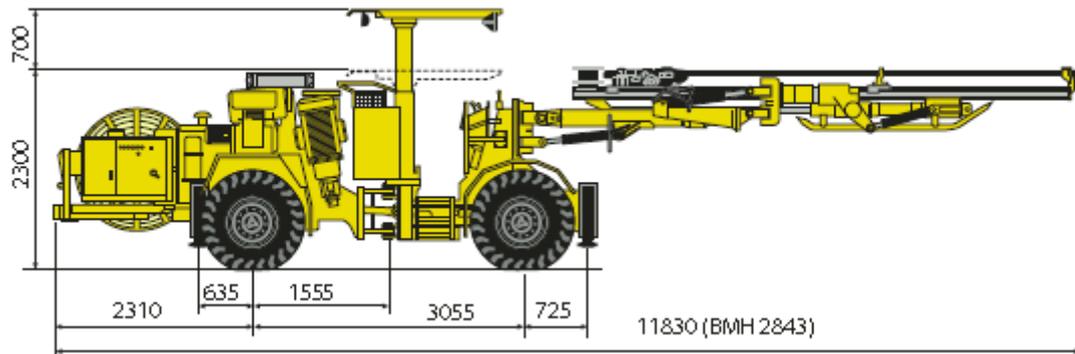


Figura 8 – Jumbo modelo *Boomer H282* da empresa *Atlas Copco*

O equipamento utilizado é o Jumbo modelo *Boomer H282* da empresa *Atlas Copco* (Figura 8). Sistema controlado hidráulicamente e alimentado com motor a diesel, possui 2 lanças para realizar suas atividades mecanizadas.

O material de perfuração utilizado é uma haste R32/R25 com comprimento de 2,70 m com perfuração efetiva máxima de 2,40 m. Sendo que a perfuração recomendada é de 2,30. Os bits utilizados são do fornecedor *Minitools* com diâmetro de perfuração de 35 mm, também é utilizada uma luva R38/R32.

Metodologia

Para melhor compreensão da operação de atirantamento nas frentes de desenvolvimento da Mineração Serra Grande, um diagnóstico operacional referente a todas as atividades, foi executado.

Foram acompanhados 112 eventos de operações de atirantamento mecanizado, sendo estas localizadas em 18 diferentes frentes nos corpos na Mina III, Mina Nova, Corpo IV e Pequizão com o intuito de capacitar os operadores e adaptar o processo as particularidades da mina, desde equipamento (dimensão da lança, pressão de rotação, alinhamentos de componentes, dimensão de batedor), à dimensão de galeria.

Na atividade para que as principais falhas no processo fossem mapeadas, foi elaborado o fluxograma mostrado na Figura 9 que divide os parâmetros em controláveis e incontroláveis. Como os parâmetros incontroláveis não são passíveis de modificação pela operação de mina, as possíveis oportunidades de melhoria são dentro dos parâmetros controláveis.

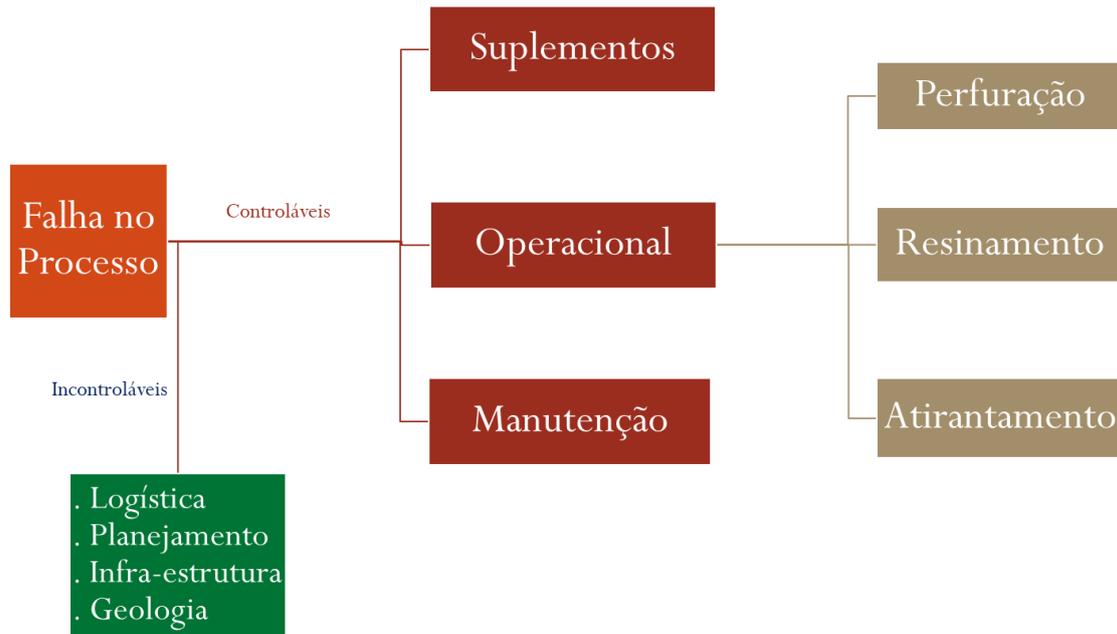


Figura 9 – Fluxograma das Falhas no Processo

Os principais critérios de medição adotados durante a realização dos testes com resinas são:

- a) Tempo para instalação de tirantes: cronometrado durante a execução da atividade
- b) Teste de arrancamento: a partir da utilização de macaco hidráulico para aferir a capacidade do tirante (MPa).
- c) Diminuição do risco em função da menor exposição do homem na frente de serviço durante a atividade: medido pela avaliação de risco com a implementação dos novos controles.

PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Influência do Perfil da Barra

A resistência do tirante é transferida para o maciço rochoso através da resina de poliéster. Toda aderência do sistema está nas irregularidades internas da parede do furo e nas nervuras da barra. Ensaios de laboratório comprovam que a falha da aderência ocorre em corte, ou seja, um cisalhamento interno no elemento de ligação (resina) em contato com a barra conforme ilustra a Figura 10. Tal resistência de aderência, ou *GRIP Factor (GF)*, varia de acordo com o design da barra, dependente da altura, espessura, bem como o espaçamento dos filetes / ressaltos da rosca [2].

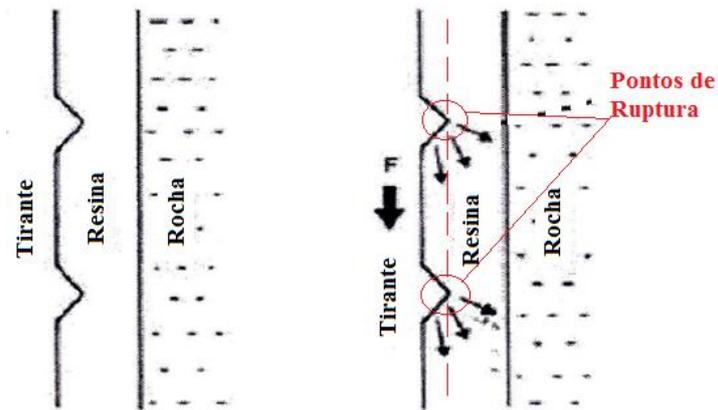


Figura 10 – Detalhe dos pontos de ruptura no contato tirante – resina

Além do fenômeno de transferência de carga, o perfil da barra influencia na qualidade operacional da instalação de tirante / resina:

- Poder de confinamento da resina ao final do furo ou expulsão da mesma do furo, dependendo do sentido da rotação no momento da instalação do tirante.
- Qualidade da mistura e homogeneização da base de poliéster com o catalisador, além da garantia da trituração da membrana que reveste o cartucho.

Influência do Torque no Sistema de Ancoragem

Na prática o tensionamento do sistema de reforço acontece para tirantes preenchidos em coluna total. Para tal, se tem utilizado dois tipos de resina com tempos distintos, permitindo assim torquear o sistema durante a instalação. Para que tal sistema tenha eficácia, o comprimento de perfuração deverá ser executado de acordo com o comprimento de tirante a se ancorar, pois, qualquer sobre furação, poderá acarretar falhas.

Ao executar o torque do tirante, em uma carga pré-definida, após a instalação das resinas rápidas e anteriormente a cura das lentas, o resultado do tensionamento será distribuído para todo o comprimento do sistema de reforço. Este fato promoverá uma maior restrição axial na região de instalação do tirante e uma redução na capacidade de carga do mesmo devido à aplicação de carga de tensionamento.

Os tirantes ancorados em coluna total oferecem maior rigidez quando comparados aos de carga pontual. Na prática, o principal benefício do torqueamento está correlacionado ao aumento do confinamento exercido nas proximidades da escavação para todas as estruturas presentes.

As chapas em reforço ativo (tirantes protendidos), que é o caso em estudo, exercem uma influência de confinamento em uma área entre as malhas dos tirantes, que varia de acordo com sua dimensão, conforme ilustra a Figura 11.

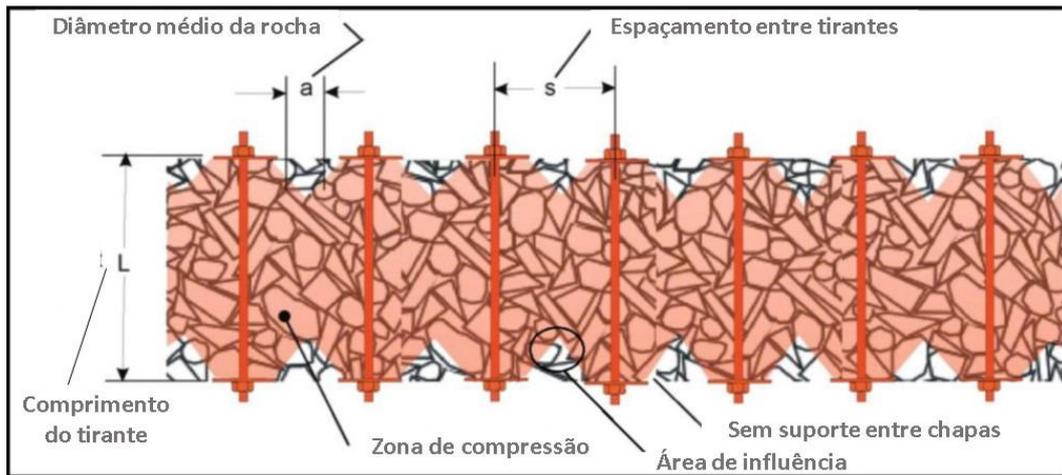


Figura 11 – Área de influência causada pela chapa ao torquear o tirante

Capacidade de Transferência de Carga

A capacidade de transferência de carga é um termo que representa a eficácia de um sistema de reforço para promover uma ação de estabilização ao maciço rochoso. Tully (1987) [3], define o conceito de transferência de carga, como as mudanças da carga de um sistema de reforço com respeito ao comprimento do tirante. Kilic et. al, (2002) [4], definem como a máxima resistência gerada por unidade de área do tirante. Os sistemas de reforço mais eficazes se caracterizam por uma alta capacidade de transferência de carga com altas cargas geradas, mas com pequenas variações de deslocamento.

A Figura 12 adaptada de Thompson (2012) [5], ilustra, através de uma representação esquemática, a terminologia e a interação entre componentes em um esquema de suporte.

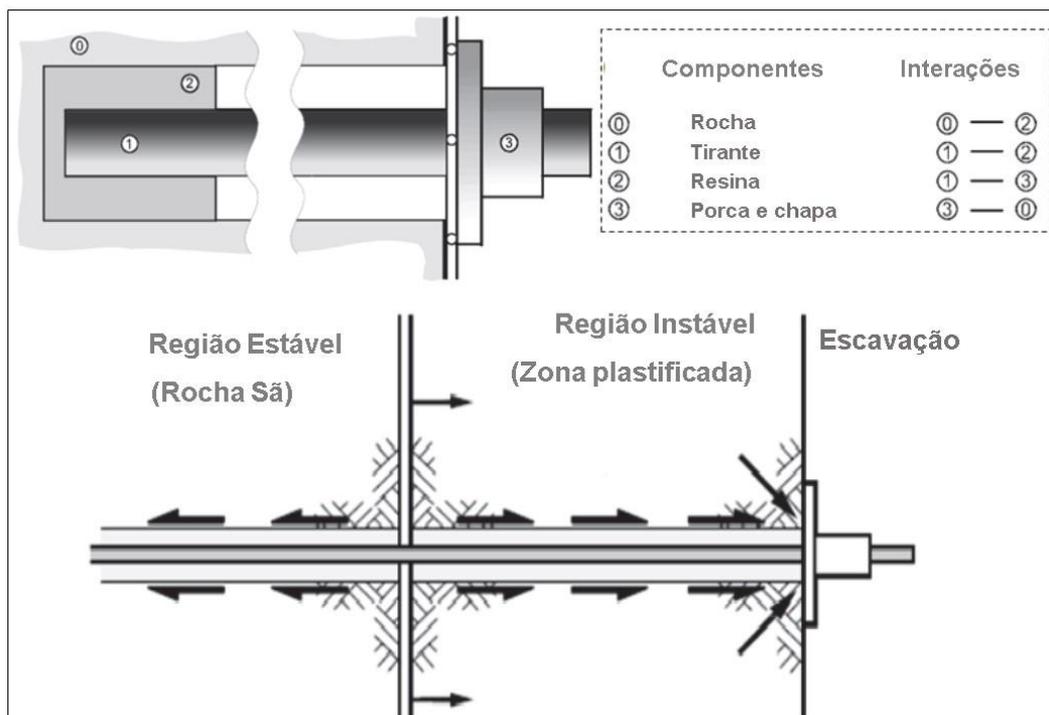


Figura 12 – Interação entre os componentes do sistema de suporte

Na Figura 13 ocorre uma falha no elemento de ligação, devido ao espaçamento sem resina no preenchimento da coluna. Isso gera uma zona de fraqueza na rocha alterada (presença de descontinuidades) e acarreta um colapso nos blocos que estavam sendo reforçados por esse sistema de transferência de carga, podendo ocasionar graves acidentes.

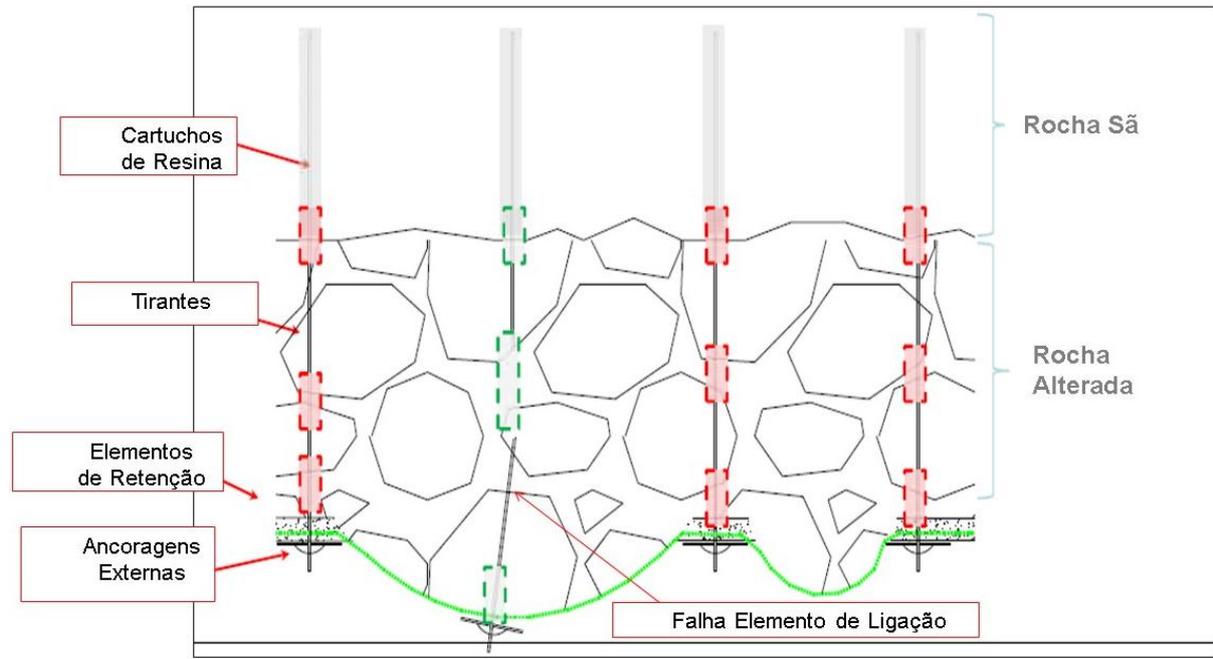


Figura 13 – Ilustração de uma falha no sistema de ancoragem

Preenchimento Total do Espaço Anular

Para se garantir coluna total no sistema de atirantamento deve se utilizar uma relação de diferença de diâmetros (perfuração, tirante e resina) ótima. A Tabela 2 mostra que com os diâmetros praticados atualmente na mineração Serra grande, apresentam margem de segurança de 1%.

Tabela 2 – Cálculo dos volumes com os diâmetros praticados atualmente

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE RESINA POR FURO			
CONFIGURAÇÕES	mm	mm ³	Volume de resina a mais
Comprimento do Furo	2300	2211737,5	1%
Diâmetro do Furo	35		
Comprimento do Tirante	2300	873862	
Diâmetro nominal do Tirante	22		
Comprimento do Cartucho	2200	1353968	
Diâmetro do Catucho	28		

De acordo com a norma ASTM F432-10 [6] o volume do furo deve ser calculado utilizando os seguintes parâmetros:

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

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

A Tabela 3 apresenta os cálculos seguindo as recomendações da norma, é possível constatar uma insuficiência em 6 % de resina no preenchimento do espaço anular.

Tabela 3 – Cálculo dos volumes seguindo as recomendações da norma ASTM F432-10

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE RESINA POR FURO			
CONFIGURAÇÕES	mm	mm ³	Volume de resina a mais
Comprimento do Furo	2325,4	2377902,456	-6%
Diâmetro do Furo	36,0922		
Comprimento do Tirante	2300	873862	
Diâmetro nominal do Tirante	22		
Comprimento do Cartucho	2200	1353968	
Diâmetro do Catucho	28		

Após essa análise, se observa que mesmo que os parâmetros do procedimento estejam sendo seguidos pelos operadores, é necessária a realização de testes com intuito de mitigar esse problema e fornecer uma margem de segurança aceitável.

Para um diagnóstico efetivo do preenchimento da coluna total, a primeira análise em campo realizada foi identificar possíveis falhas na operação de perfuração, e com isso foram constatados os seguintes problemas:

- Não marcação de haste por parte do operador, podendo ocasionar a sobre furação;
- Dependendo da litologia (diferença de competência dos maciços rochosos), o diâmetro do bit de perfuração apresenta diferente durabilidade (vida útil);
- Chanfro da ponta do tirante, cortando parte do cartucho de resina.

Em seguida foi realizada uma rotina de testes, esse plano foi desenvolvido buscando compreender as possíveis variações que podem ocorrer na operação. Foram realizados 10 testes nos corpos de minério Mina III, Corpo IV e Pequizão compreendendo as diferentes litologias da mina: Dolomito, Xisto e Xisto Grafítico. Os parâmetros variados foram os seguintes:

- Variação de bit⁴: **Novo (frente de minério)** e desgastado (frente de estéril com limite de 33,5 mm);
- Comprimento de perfuração: 2250 mm, **2300 mm** e 2400 mm (Haste completa⁵);

⁴ Um bit novo utilizado na perfuração para aplicação de contenção apresenta diâmetro de 35 mm.

- Comprimento cartuchos: 2200 mm e **2300 mm**;
- Marcação do tubo: 2150 mm e **2200 mm**.

Após os testes podemos dizer que os parâmetros demarcados em negritos foram considerados os que melhor atendem a operação da mineração Serra Grande, de forma que possibilitem um preenchimento total da coluna do furo.

RESULTADOS

Foram acompanhados 112 eventos de operações de atirantamento mecanizado, sendo estas localizadas em 18 diferentes frentes nos corpos na Mina III, Mina Nova, Corpo IV e Pequizão. Para uma análise mais detalhada da operação, dividimos o atirantamento em 4 etapas, sendo essas: perfuração, resinação, mistura e manobras. Sendo cada uma dessas atividades divididas em sub-etapas.

A primeira análise consistiu na soma do tempo médio de cada operador para cada uma dessas atividades, calculando dessa forma o número de tirantes por hora trabalhada (Figura 14). E a média geral para cada atividade (Figura 15).

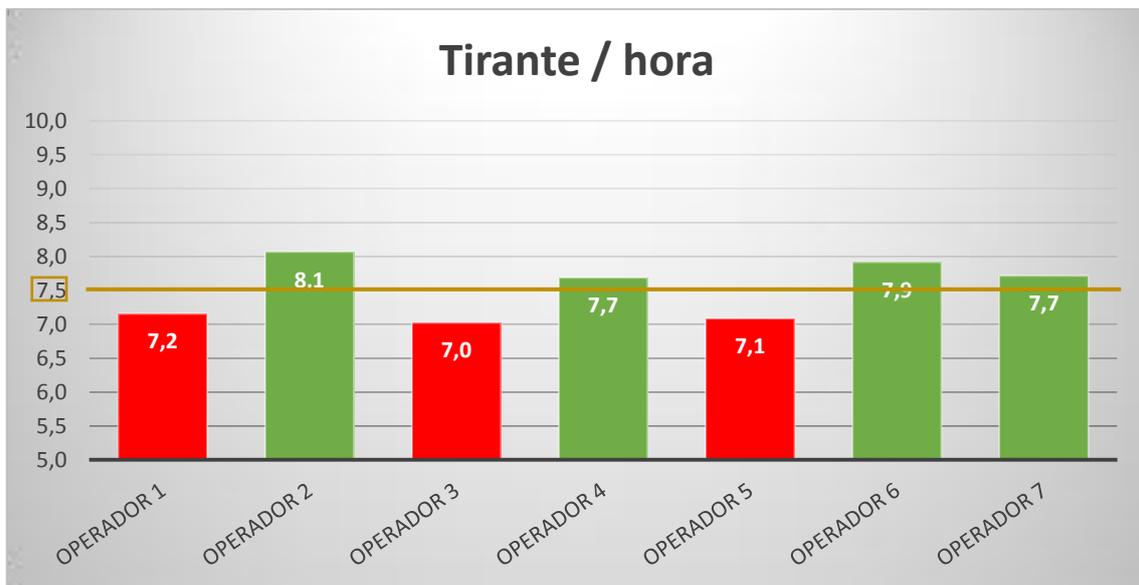


Figura 14 – Número de tirantes por hora trabalhada

⁵ A haste completa utilizada na perfuração para aplicação de contenção apresenta 12 pés ou 2,66 m. Contudo, devido ao centralizador a perfuração efetiva é em média de 2,40 m.

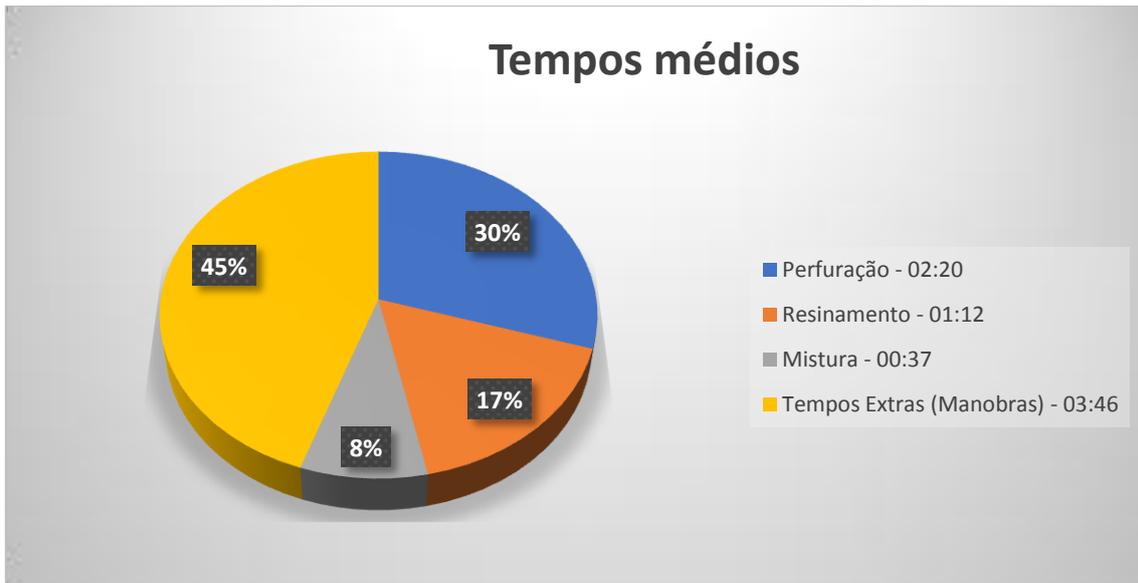


Figura 15 – Média geral para cada atividade

Avaliando a operação de perfuração, temos as etapas de posicionamento do braço de acordo com a malha de atirantamento, tempo de perfuração e limpeza do furo (Figura 16). Foi constatado que cada equipamento tem uma performance de perfuração desta forma foram comparados os tempos dos mesmos, plotando a linha média (Figura 17). Podemos visualizar que os Jumbos 20 e 25 possuem um tempo inferior à média.

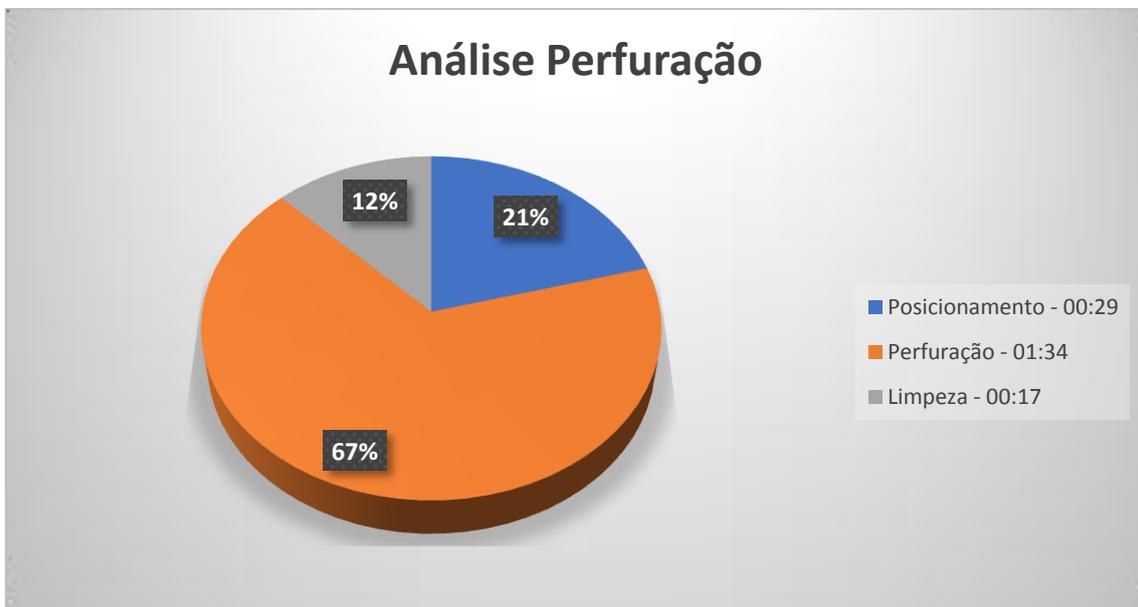


Figura 16 – Tempo médio das etapas de perfuração

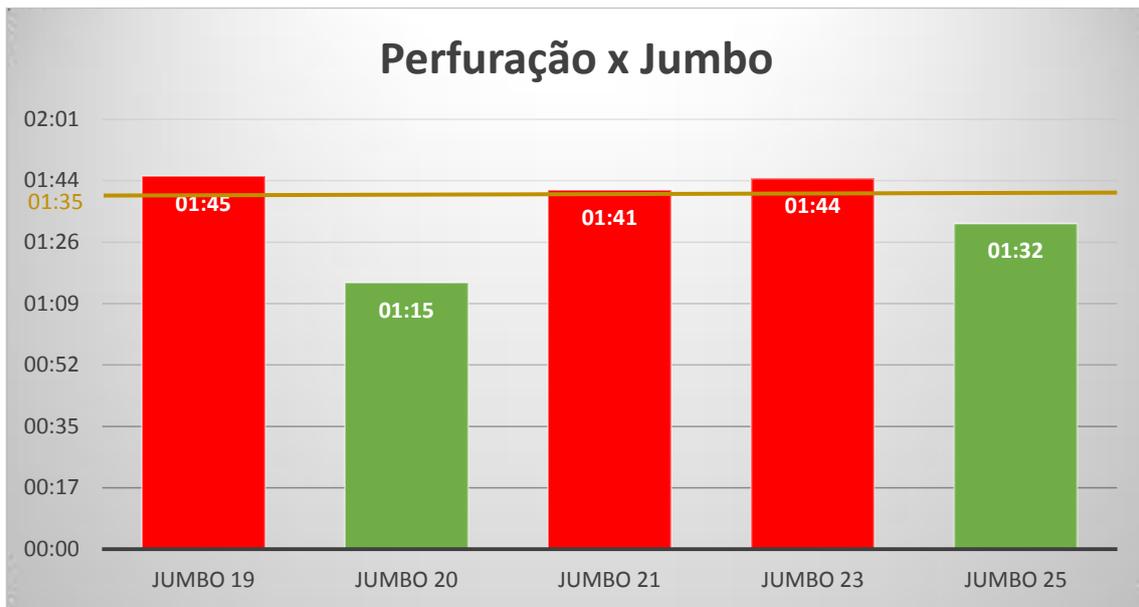


Figura 17 – Tempo médio de perfuração por Jumbo

Também foram analisados os tempos de resinamento (Figura 18) que compreendem posicionamento do tubo na boca do furo e inserção do cartucho de resina nos furos. E o tempo médio das manobras (Figura 19), sendo elas tempo de posicionamento de braço em área contida para realizar a atividade, tempo de reposição de tirantes e cartuchos de resinas, espera de gel (*holding time*) mais tempo de retirada do braço.

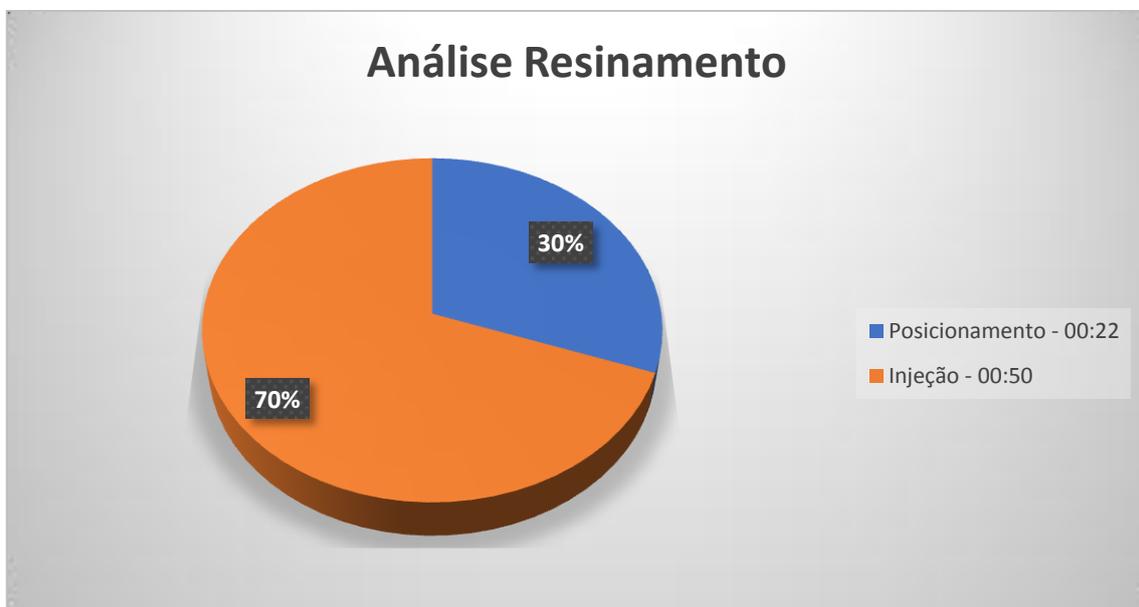


Figura 18 – Tempo médio das etapas de resinamento

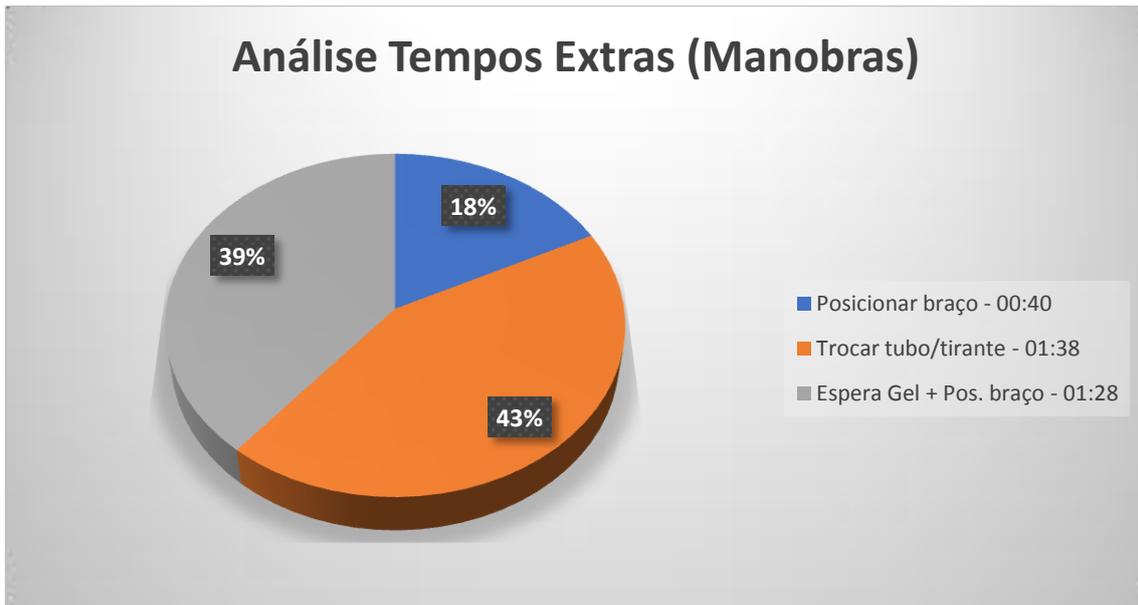


Figura 19 – Tempo médio das etapas de manobra

De acordo com a fabricante *Rock Support*, para que a mistura da resina/catalisador cure propriamente devem ter ao menos 40 rotações durante o contato do tirante com os cartuchos. Com base nessa informação, calculamos o limite de tempo mínimo e máximo recomendado (linhas em vermelho) e plotamos os tempos de mistura de cada operador, identifica-se que todos os operadores estão com o tempo de mistura apto (Figura 20).



Figura 20 – Tempo de mistura por operador

Testes de Arrancamento

Os testes foram executados com o objetivo de verificar a operação de inserção de cartuchos de resina, instalação do tirante com jumbo, e avaliar a resistência à aderência dos

conjuntos (tirante/resina e resina/maciço). Foram executados 94 testes de arrancamento (*pull test*). De acordo com o padrão determinado pela equipe de Mecânica de Rochas da Mineração Serra Grande, o sistema de reforço deve sustentar uma força de tração superior a 18 Ton. aplicada pelo cilindro de arranque para ser considerado adequado. A Figura 22, abaixo, detalha os resultados dos testes realizados:

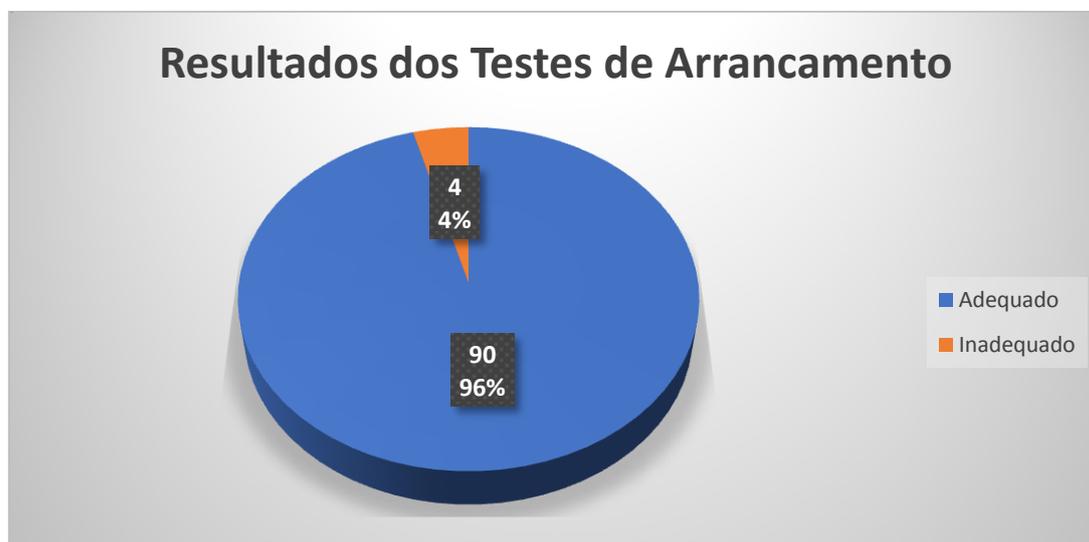


Figura 21 - Detalhe dos resultados dos testes de arrancamento

Grip Factor

Existe uma variação significativa da resistência de aderência no comprimento de ancoragem, ou seja, na interface tirante / resina / rocha, que depende das características geométricas do tirante, qualidade operacional de instalação, características do maciço e do elemento de ligação. Essas diversas variáveis definem a performance do sistema de reforço e seus riscos. Os riscos podem ser reduzidos quando implementado e incorporado ao sistema de qualidade indicadores padrão, como o GRIP *factor* (GF), e procedimentos padrão como ensaios de tração utilizando metodologia SEPT (*short encapsulation pull test*) em conjunto com auditoria regular de qualidade dos materiais utilizados.

Neste estudo é apresentada uma análise das metodologias SEPT e GRIP *factor* em maciços rochosos de diferente qualidade geomecânica, onde será avaliada a qualidade de mistura da base de resina e catalisador, o fenômeno de confinamento propiciado pelo design / rosca do tirante e sentido de rotação no momento da instalação, além da resistência à aderência, onde é possível entender a real transferência de carga do conjunto.

De acordo com [7] Mark, C. *et al* (2002), a eficiência da aderência (GF) é definida como a resistência de ancoragem do tirante por polegada (*inch*). O GF é calculado pela carga máxima aplicada no conjunto de força (equação 1), em até 24 horas após instalação, utilizando um comprimento de ancoragem pré-definido (SEPT) até a ruptura na interface rocha / resina / tirante, conforme desenho esquemático apresentado pela Figura 23.

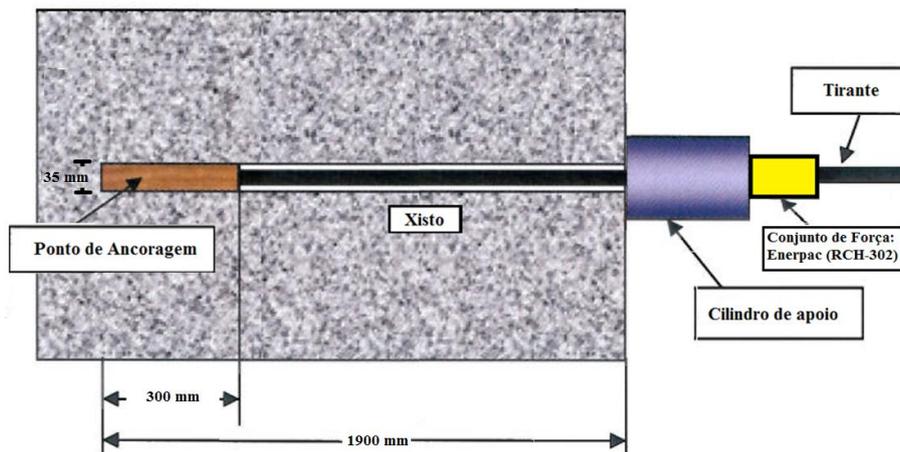


Figura 22 - Desenho esquemático dos testes realizados

$$\text{Fator Grip} = \frac{\text{Carga máxima SEPT (tons)}}{30 \text{ cm (ou 12 inch)}} \quad (1)$$

Tabela 4: Resultado dos testes

Testes	Tirantes	C.P. (mm)	C.C. (mm)	C.A. (mm)	T.I. (seg)	P.T. (Psi)	P.T. (Ton)	G.F. (ton/in)	G.F. (Ton/cm)	F.A.
1	HEL.	1900	320	300	25	4000	12.5	1,04	0,42	R/T
2	R.I.	1900	320	300	25	4200	13.2	1,12	0,44	R/T
3	R.M.	1900	320	300	25	4600	14.4	1,21	0,48	R/R
4	HEL.	1900	320	300	25	3600	11.3	0,94	0,38	R/T
5	R.I.	1900	320	300	25	5000	15.7	1,31	0,52	R/T
6	R.M.	1900	320	300	25	2600	8.1	0,68	0,27	R/R
7	HEL.	1900	320	300	30	6000	18.9	1,58	0,63	R/T
8	R.I.	1900	320	300	30	3000	9.4	0,78	0,31	R/R
9	R.M.	1900	320	300	30	4200	13.2	1,11	0,44	R/R

C.P.: Comprimento de perfuração / **C.C.:** Comprimento do Cartucho Resina / **C.A.:** Comprimento de Ancoragem / **T.I.:** Tempo de instalação (mistura) / **P.T.:** Pull Test / **G.F.:** Grip Factor / **F.A.:** Falha de Aderência (R/T: resina/tirante e R/R: resina/rocha)

A Figura 24 apresenta os valores médios do fator *Grip* de acordo com o *design* da barra utilizado nos testes. O tirante de rosca helicoidal (HEL.) e de rosca redondo integral (R.I.) apresentaram uma média de 0,48 Ton/cm, enquanto que o tirante de rosca redondo “modificado” (R.M.) teve uma média de fator *Grip* inferior, 0,46 Ton/cm. A média, considerando os três tipos de rosca é de 0,47 Ton/cm, e é ilustrada em verde na Figura 24.

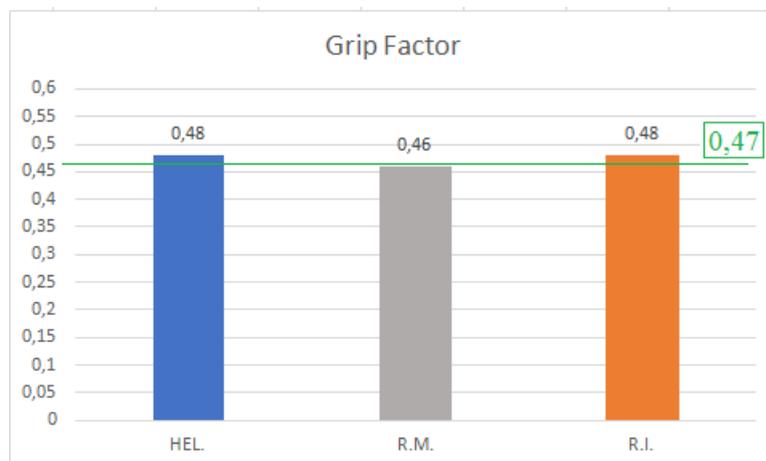


Figura 23 – Fator GRIP por tipo de *design* da barra

COMENTÁRIOS FINAIS E SUGESTÕES

Os resultados dos testes comprovam que a metodologia de instalação de tirantes com jumbo, desde a perfuração, colocação dos cartuchos e torqueamento, trazem ganhos operacionais voltados à produtividade e segurança, tais como:

1. Redução de exposição de pessoal em área não estabilizada, propiciando maior segurança.
2. Ativação imediata do sistema de estabilização após torqueamento (sistema ativo).
3. Aumento de produtividade do jumbo, podendo perfurar frente ou para contenção.
4. Não necessidade de plataforma para o processo de colocação de resinas e aplicação de tirantes.
5. Não necessidade de ar comprimido para o processo.
6. Pode ser utilizado com qualquer jumbo.
7. Possibilidade de inserção de todos os cartuchos em uma só operação.

Os ensaios de arrancamento comprovaram a eficácia do sistema, resultando em uma boa resistência à aderência entre resina/rocha e resina/barra, o que atende os requisitos mínimos de resistência solicitados pela equipe geomecânica da unidade Mineração Serra Grande (AngloGold Ashanti).

Pode-se concluir que todos os três tirantes testados possibilitam uma boa homogeneização da base resina com catalisador e uma transferência de carga efetiva. Porém, no quesito confinamento, o tirante R.M., durante a instalação, impossibilitou o confinamento total da resina no fundo do furo, devido as aletas misturadoras.

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.

Sugere-se conhecer a zona de plastificação real das escavações de desenvolvimento, na litologia em estudo, correlaciona-la com as cunhas projetadas das discontinuidades mapeadas das galerias para se concluir qual é o início da zona elástica, ou seja, o ponto inicial de onde o tirante pode-se ancorar.

Sugere-se executar GRIP Factor para todas as litologias da Mina, buscando avaliar se existe variação de resistência de aderência do sistema de atirantamento entre os litotipos.

O acompanhamento técnico das atividades e os relatos de boa parte dos operadores possibilitou compreender algumas dificuldades que cercam a operação de atirantamento, além de discernir a origem das falhas, identificadas após a instalação dos tirantes. Alguns problemas identificados já foram solucionados e uma evolução significativa foi acompanhada desde o primeiro acompanhamento até o momento.

Referências Bibliográficas

- E. Villaescusa, R. Varden e R. Hassel, "Quantifying the performance of resin anchored
1] rock bolts in the Australian underground hard rock mining industry," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2007.
- N. Aziz e H. Jalalifar, "Investigation into the transfer mechanism of loads in grouted
2] bolts," *Australian Geomechanics Vol 40 No 2*, pp. 99 - 112, 2005.
- D. M. Tully, "Rock Bolt Reinforcement Systems for Coal Mine Roadways," Newcastle
3] University, 1987.
- A. Kilic, E. Yasar e A. Celik, "Effect of grout properties on the pull-out load capacity of
4] fully grouted," *Tunnelling and Underground Space Technology*, pp. 355-362, 2002.
- A. Thompson, E. Villaescusa e C. Windsor, "Ground Support Terminology and
5] Classification: An Update," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 30, nº 3, p. 553–580, 2012.
- ASTM, "F432-10 Standard Specification for Roof, Rock Bolts, Accessories," West
6] Conshohocken, 2010.
- C. Mark, C. Compton, D. Oyler e D. Dolinar, "Anchorage Pull Testing for Fully Grouted
7] Roof Bolts," em *Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, WV, West Virginia University, 2002.