

## Parâmetros Relevantes e Críticos que Influenciam na Performance do Atirantamento com Cartucho de Resina de Poliéster

Alexandre Gontijo,  
MecRoc Engenharia Ltda., Belo Horizonte - MG, Brasil, [alexandre.gontijo@mecroc.com.br](mailto:alexandre.gontijo@mecroc.com.br);

Julio Lopez,  
ProdiMin, Lima, Peru, [jclopez1051@gmail.com](mailto:jclopez1051@gmail.com) ;

Felipe de Brito Pereira  
Anglo Gold Ashanti, Sabará - MG, Brasil, [fbpereira@anglogoldashanti.com](mailto:fbpereira@anglogoldashanti.com)

Gilberto Haruo Hashimoto  
Votorantim Metais, Paracatu – MG, Brasil, [gilberto.hashimoto@vmetais.com.br](mailto:gilberto.hashimoto@vmetais.com.br)

Jairo Silva  
BrioGold, Pilar de Goiás GO, Brasil, [jairo.silva@yamana.com](mailto:jairo.silva@yamana.com)

**RESUMO:** A constante necessidade de um controle mais eficiente sobre a estabilidade do maciço rochoso com o objetivo de uma maior segurança, maximizar a produtividade e reduzir os custos, levaram a investigar o desenvolvimento de um tipo de argamassa química para permitir ser uma alternativa ao uso da calda de cimento no processo de reforço de uma escavação subterrânea. A calda de cimento tem sido tradicionalmente usada em mineração subterrânea para a fixação dos elementos de reforço há mais de 50 anos, mas a necessidade de obter uma maior velocidade de cura despertou pesquisadores, que no início dos anos 70, desenvolveram um elemento de ligação à base de resina de poliéster. Este elemento oferece vantagens, tais como, possibilidade de trabalhar com distintos tempos de cura, sendo, desde segundos a minutos, e a obtenção de uma elevada resistência mecânica, graças às propriedades de aderência e de coesão. É possível se ter uma calda de cimento com cura similar às resinas de poliéster, porém a resistência mecânica que se consegue em mesmo tempo, é inferior. Um cartucho de resina pode alcançar até 90% de sua resistência mecânica em um período equivalente a 5 vezes o tempo de cura desta, enquanto, para uma calda de cimento, com uma formulação modificada, se obtém à metade da resistência em um período similar.

O uso de cartuchos de resina de poliéster como elementos de ligação, para tirantes protendidos, surge como uma solução efetiva, atendendo os aspectos técnicos, econômicos, e que tem como uma grande vantagem, sua eficácia e cura rápida bem definida, permitindo um ciclo operacional de trabalho mais produtivo e mais seguro. No Brasil, em minerações subterrâneas com maciço competente, o principal sistema de reforço utilizado, é o atirantamento com cartuchos de resina de poliéster, por ter uma garantia de funcionamento permanente.

Os sistemas de reforço, que tem a função de melhorar a qualidade do maciço rochoso e alterar as propriedades mecânicas do meio que no qual está inserido, em escavações subterrâneas de maciço rochoso, são dimensionados para trabalhar em mecanismos de ruptura de qualquer gênero. Este trabalho irá apresentar os principais fatores que influenciam diretamente na transferência de carga e na *performance* do sistema de atirantamento com cartuchos de resinas. Além destes, ensaios (*pull test*) de campo com comprimentos de ancoragens inferiores para se conhecer a transferência de carga do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resina de Poliester, Reforço, Maciço Rochoso, Calda de Cimento

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma diversidade de elementos de contenção de escavações

subterrâneas no mercado mundial. Todos estes desenvolvidos para garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Dentre estes, se tem: madeiras (os primeiros a serem utilizados pelo homem), arcos metálicos, barras rosqueadas/nervuradas de aço ou fibra de vidro (tirantes), barras tubulares com aço especial (tirantes expansivos ou de atrito), barras autoperfurantes, cordoalhas (comum, *bird cage* e *nut cage*), concreto projetado com fibras de aço ou sintéticas e telas eletrosoldadas, tecida, galvanizada ou poliéster (Robles, E. 1994, adaptado por Paredes E.)

Em desenvolvimentos de minerações subterrâneas brasileiras (soft ou hard Rock), os sistemas de suportes mecânicos e passivos, tem perdido seu espaço para o uso de sistemas de reforços químico, coluna total e ativo, ou seja, tirantes com resina e proteção.

Tal evolução ao uso de reforços, ao invés de suportes, no desenvolvimento das minas, se iniciou, principalmente, devido ao aumento da vida útil da mina, o que requer sistemas permanentes. Os sistemas de ancoragens permanentes disponíveis no mercado são subdivididos em atirantamento com cartuchos de resina ou com calda de cimento (em forma de *grout* ou cimento encartuchado). Como o resultado da mina depende de produtividade e eficiência operacional, os cartuchos de resina conquistaram seu espaço com facilidade, pois o mesmo pode alcançar até 90% de sua resistência mecânica em um período de tempo equivalente a 5 vezes o tempo de cura desta, enquanto, para uma calda de cimento, com uma formulação modificada, se obtém somente à metade da resistência em um período similar.

O organograma a seguir apresenta os principais sistemas de ancoragens utilizados nas minerações brasileiras:

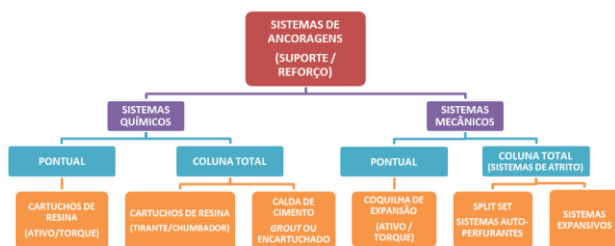


Figura 1. Principais sistemas de ancoragens subterrâneas e seus princípios de funcionamento.

Os ganhos técnicos operacionais e sobre segurança relacionados ao uso do tirante com cartuchos de resina depende somente de uma implantação correta (dimensionamento e metodologia de instalação) e um controle de qualidade excelente (*pull tests*) para que essas mudanças não gerem falhas durante o processo operacional.

Devido a inexistência de Norma ABNT sobre estabilização de escavações subterrâneas, desde metodologia de instalação, testes de controle, dimensões de produtos, acessórios, até mesmo instalação, é seguido a ASTM F-432 (*Standard Specification for Roof and Rock Bolts and Accessories*) e a ASTM D-4435 (*Standard Test Method for Rock Bolt Anchor Pull Test*);

Apesar da diversidade de elementos de ancoragens utilizados em escavações subterrâneas, neste trabalho focaremos no sistema de reforço padrão utilizado no Brasil, nos desenvolvimentos de mina subterrânea, o sistema de tirante com cartuchos de resina.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em meados da década de 50, foi introduzido na mineração de carvão, coquilhas de expansão, ou seja, sistemas pontuais de ancoragens mecânicas. Inicialmente, esse sistema foi uma solução eficiente, mas, em médio/longo prazo começaram a mostrar algumas debilidades, tais como, uma deficiência na transferência de carga em maciço rochoso sedimentar, além de que estes sistemas eram afetados pelas vibrações das detonações, o que possibilitava a geração e deslizamento de cunhas e/ou placas dos estratos.

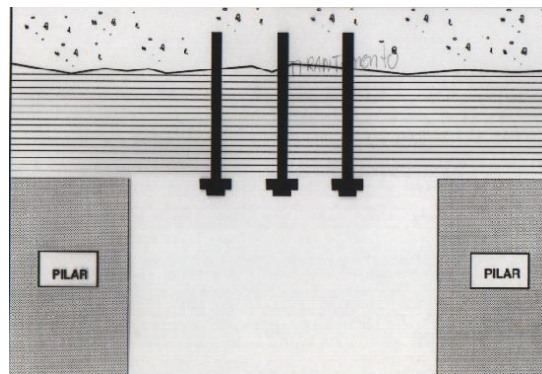


Figura 2. Sistemas de ancoragens que trabalham por efeito suspensão em minas de carvão.

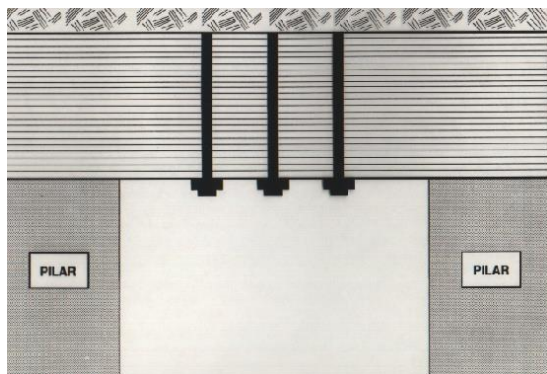


Figura 3. Sistemas de ancoragens que trabalham por efeito confinamento de camadas em minas de carvão.

Com o intuito de superar os problemas dos sistemas de reforço com coquilhas de expansão, no princípio da década de 60, pesquisadores desenvolveram um elemento de ligação à base de resina de poliéster. Este elemento, chamado de cartuchos de resina, oferece vantagens, tais como, possibilidade de trabalhar com distintos tempo de cura, sendo, desde segundos à minutos, e a obtenção de uma elevada resistência mecânica, graças às propriedades de aderência e de coesão.

Os testes de laboratório e em escavações subterrâneas mostraram que o sistema de ancoragem com resina de poliéster era consideravelmente mais rígido que as ancoragens mecânicas. A diferença no rendimento dos dois tipos de ancoragens é ilustrada na Figura 4 (Barnes and Howe, 1964, adaptado por Aziz, 2002).

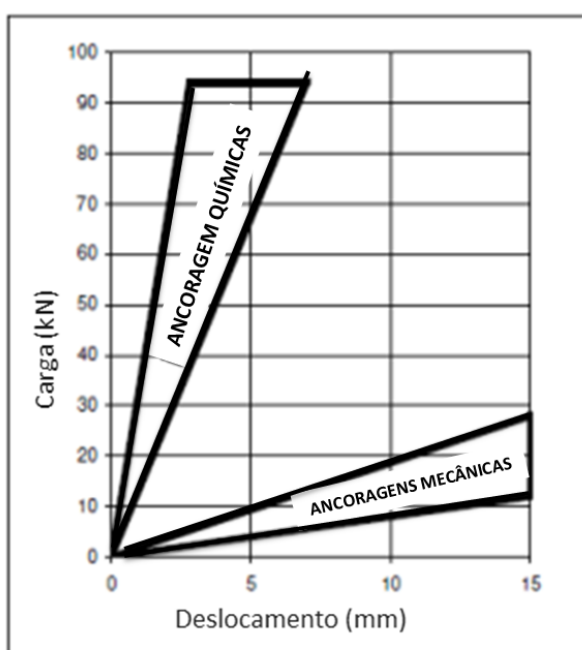


Figura 4. Limites de performance de ancoragens mecânicas ou de resina de poliéster (Barnes and Howe, 1964, adaptado por Aziz, 2002).

Nas minas metálicas (*hard rock*), na década de 50 e 60, o uso de calda de cimento no processo de reforço de uma escavação subterrânea era uma operação rotineira, porém, no início dos anos 70, com o objetivo de uma maior velocidade de cura, maior segurança, maximizar a produtividade e reduzir os custos, levaram a implementar o sistema de cartuchos de resina de poliéster nos sistemas de ancoragens destas minas. Esse sistema se considera não tensionado, entretanto, com o uso das placas se pode tensionar o pacote rochoso em balanço (Karabin y Debevec, 1976). Tal carga também pode se aumentar usando a “técnica de tirantes tensionados”, que se pode chegar aplicando carga inicial sobre a placa (1/3 carga de trabalho).

### 3 ASPECTOS GERAIS SOBRE A TENDÊNCIA DO USO DOS SISTEMAS DE REFORÇO COMO CONTENÇÃO PRINCIPAL EM DESENVOLVIMENTOS MINEIROS

#### 3.1 Aspecto da rigidez do sistema de reforço

A rigidez influencia na rapidez com que o sistema de reforço desenvolve a capacidade de transferência de carga em resposta a deformação do maciço rochoso ou estratos (Mark, 2000). Quanto mais rápido o tirante gera cargas opostas ao deslocamento, será mais rígido o sistema de reforço, e por tanto, se terá um melhor controle de deformação, o que permitirá reduzir e prevenir qualquer nova fratura no maciço rochoso (propagação de descontinuidades) que possa gerar uma condição para que se produza uma falha/cunha. Neste aspecto deve se considerar a curva de reação do maciço rochoso contra a curva do suporte, para assim, determinar o momento ideal para instalação do mesmo, sem que haja ruptura precoce do suporte e/ou maciço.

#### 3.2 Aspecto da 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) define o conceito de transferência de carga, como as mudanças da carga de um sistema de reforço com respeito ao comprimento do tirante. Kilic (2002) define 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.

### 3.3 Influência do Perfil do elemento de reforço

Os primeiros tirantes que foram comercializados para uso com resina foram fabricados a partir de barras de aço redondas, onde se usavam abrir roscas com 150 mm. Em uma extremidade se utilizava para a instalação da porca, e na outra, gerava uma rosca e fazia a deformação na mesma com o fim de ter um perfil rugoso para obter uma maior aderência no contato resina/tirante.

Porém, este tipo de deformação em uma extremidade não apresentou muita eficiência, assim como também a altura destes; por tanto, com esse perfil se obtinha uma baixa aderência entre o conjunto tirante/resina e rocha. É importante salientar que o maciço rochoso ao sofrer uma deformação, ou plastificar, exerce forças de deslocamento, que no qual devem ser compensados pela resistência mecânica do tirante, que é influenciada pela rugosidade da superfície da rocha, nervuras do perfil da barra e resistência mecânica da resina.

Investigações tem concluído que uma maior altura de ressalte do passo de rosca, desenvolve uma maior força radial que um passo de menor altura, o que traduz em se obter uma maior rigidez na interface, melhorando o tirante à resistir os esforços cisalhantes.

## 4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.

### 4.1 Parâmetros Relevantes e Críticos que influenciam na Performance do Atirantamento com Cartucho de Resina de poliéster

#### 4.1.1 Perfuração

*Influência do Diâmetro:* A redução de diâmetro de perfuração (menor que 30 mm) que se aplica ao sistema de reforço utilizando resinas, como grout químico, tem demonstrado que obtém uma melhor performance do tirante, do que com diâmetros maiores. A modificação de diâmetros deve ser realizada após análises, principalmente, de dois parâmetros. Em primeiro, é importante salientar que quanto menor o espaço anular, mais eficiente o processo de mistura do cartucho de resina será, assim como, a trituração da película de poliéster do cartucho, reduzindo possíveis falhas quando se ocorre uma má trituração deste.

Em segundo lugar, quanto menor a espessura de resina em espaço anular, se reduz o consumo e obtém uma união mais rígida entre tirante e rocha.

*Influência do espaço anular:* Uma variável, não muito analisada, e que afeta a performance do atirantamento com resina, é espaço anular, que é definida como a diferença entre o volume do tirante, e o volume gerado pela parede de perfuração.

Inúmeros testes realizados em laboratórios encontraram que a diferença ótima entre o diâmetro do tirante e o diâmetro do orifício não deve ser maior que 6 mm (0,25 polegadas), acarretando em um anel, ou espaço anular de 3 mm (0,125 polegadas) [Fairhurst y Singh 1974; Karabin y Debevic 1976; adaptado Craig et al. 2010].

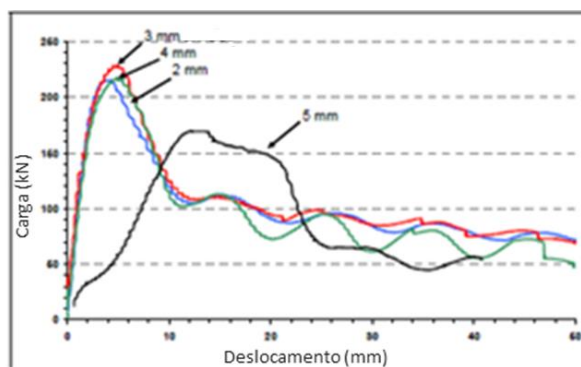


Figura 5. Efeito da variação do Espaço anular preenchido com resinas de poliéster (Moosav, 2008).

*Influência do Comprimento:* Mark (2000) analisando sistemas de reforço em minerações de carvão, concluiu que a resistência total do

volume resina, é geralmente menor que a resistência do aço, para comprimentos de ancoragens inferiores que 0,61 m. Também se observou que a capacidade de resistência de aderência depende da resistência da rocha e parâmetros de instalação, por isso, a avaliação da performance dos tirantes ancorados com resina devem considerar todo o sistema (tirante/resina e rocha). Os três componentes têm diferentes propriedades, como material, o que pode afetar a performance final do sistema. Os aços são dúcteis e tem altas resistências finais e módulos de elasticidade altos, o que significa que podem suportar altas cargas. A resina e a maciço rochoso hospedeiro podem ser frágeis e não são capazes de suportar cargas de tração elevadas. Porém, a combinação dos três materiais distintos, em geral, pode levar a gerar, como resultado, falhas do sistema por cisalhamento na interface entre rocha e resina. Entretanto, devido ao atrito e aderência do aço, somado à uma coluna total de resina, isto será suficiente para conseguir a transferência de carga requerida, segundo a capacidade total do tirante, já que esta condição permite pequena variação de deslocamento, pois, considera-se um sistema rígido, devido ao espaço anular estar completo de grout químico, além de se ter uma maior transferência de carga e maior resistência cisalhante, quando são submetidos à esforços derivados do maciço rochoso. Os esforços que os sistemas de reforço são submetidos, sendo por tração, ou cisalhante, podem ser combinados com esforços de flexão (Craig 2010).

Existe uma boa transferência de carga quando altos esforços se desenvolvem em um tirante, em resposta a pequenas variações de deslocamento de pacotes de rocha.

Quando a transferência de carga for deficiente, esforços serão observados:

- Esforços elevados nas placas do conjunto.
- Consideráveis movimentos de teto/lateral antes de ter uma máxima resposta do tirante.
- Baixa capacidade de ancoragem do tirante, considerando que as variações de deslocamento ocorrem na parte superior da ancoragem (Newson 1998).

*Influencia da Direção:* Teoricamente, se indica que a direção de instalação dos sistemas de

ancoragens, deve ser perpendicular à foliação dominante, mas, como padrão, as instalações são perpendiculares à superfície da escavação.

Na prática, normalmente, a superfície do maciço rochoso se apresenta irregular, o que acarreta (em alguns casos) uma perfuração em direção não ótima, possibilitando uma baixa performance do sistema.

Dentre as possíveis falhas que uma direção não correta de instalação de um tirante pode acarretar, temos:

- se a placa não trabalha em toda sua área (superfície de contato), ou seja, esta inclinada, se executa, operacionalmente, um mal confinamento do maciço rochoso, e esta não irá exercer uma boa performance/trabalho sobre o maciço.
- uma pequena diferença de inclinação entre perfuração e instalação dos tirantes, não possibilitará que a resina/catalisador tenham uma boa reação, devido à possibilidade de uma baixa qualidade de mistura entre estes.
- Uma má mistura dos cartuchos de resinas devido ao posicionamento do furo.

Para evitar um trabalho de baixa qualidade da placa, o tirante deve ser instalado em uma parte da superfície da escavação, onde é possível se reduzir a desviação do ângulo de inclinação da placa. Recomendações internacionais de boas práticas operacionais dizem que o tirante não deve ser instalado com um ângulo maior que 15°, de acordo com a superfície da escavação, e não deve ser instalado em uma descontinuidade, paralelo à esta.

#### 4.1.2 Qualidade do Produto

Tirantes:

Os sistemas de reforço que trabalham com coluta total, que são instalados em áreas que apresentam elevados esforços e deformações, podem estar submetidos à cargas que excedem seu limite elástico. Quanto maior à resistência à fluência ou maior o limite elástico do tirante, o sistema se comportará mais rígido para condições de carga existente. Por tanto, a introdução de tirantes que tem maior resistência à fluência, permitirá melhorar a rigidez de todo o conjunto de reforço.

A indústria mineira da Austrália tem realizado



uma permanente melhoria contínua, desde 1980, no que tange as propriedades elásticas das barras de aço utilizadas como reforço em minerações subterrâneas. A figura 6 mostra as características mecânicas do tirante de resistência padrão (AS), uma posterior que a introdução de um tirante de alta resistência (AH), assim como, também uma introdução, de um tirante de extrema resistência (AX).

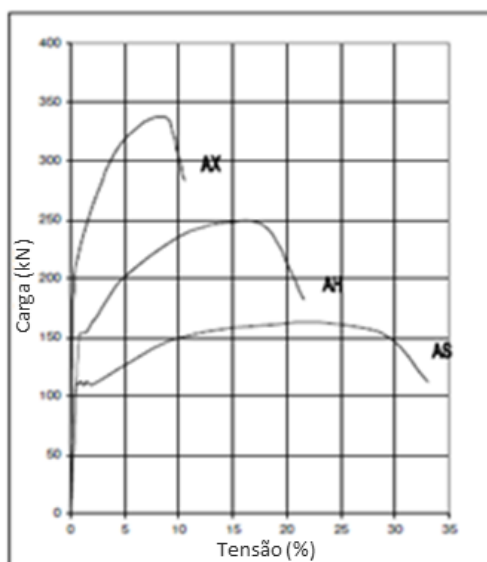


Figura 6. Características dos tirantes (ASTM A 615)

As curvas de comportamento dos tirantes correspondem às curvas esperadas para os aços segundo a norma ASTM A 615, definidos como grau 40 (AS), grau 60 (AH) e grau 75 (AX). No Brasil o grau mais comum, para uso de tirantes, é o grau 60.

É importante recordar que os tirantes de maior resistência, proporcionam maior rigidez, não só com o tema de elongação axial, mas também sobre a resistência ao cisalhamento. Quanto maior à resistência à tração da barra, maior é a resistência ao cisalhamento.

#### Cartuchos de resina

O princípio de atuação da resina no atirantamento é ser o elemento de ligação entre a parede do furo e o tirante, preenchendo tal espaço anular, moldando-se nas irregularidades da parede do furo e nas nervuras do tirante. A capacidade de carga do sistema é dada pela resistência ao rompimento do tirante e a resistência ao cisalhamento da resina e da rocha, não atuando, portanto, como cola.

O plástico que compõe o cartucho tem a mesma composição química da resina e é destruído no momento da mistura da resina com o catalisador, onde este passa a compor a mistura, não interferindo na capacidade de resistência do sistema. É de extrema importância verificar e conhecer a espessura do revestimento do cartucho de resina, pois, quanto mais fino for a película, mais fácil será de triturá-la.

Além de ensaios de resistência mecânica (compressão uniaxial) a ASTM F432 (*Standard Specifications for Roof and Rock Bolts and Accessories*) recomenda ensaios em campo e em laboratório, tais como:

- Padrão mínimo de transferência de carga.
- Padrão de rotação de equipamentos para instalação.
- Padrão de volume de resina na perfuração.

#### 4.1.3 Instalação

Uma baixa homogeneidade da mistura ligante, resina, podem ocorrer caso o tempo de rotação durante a instalação não seja executado dentro dos procedimentos. Ao mesmo tempo, um excesso de rotação pode danificar a resina, já que, poderá romper os cristais já cristalizados.

Uma mistura inadequada também pode ocorrer com tirantes longos, principalmente na parte superior, já que o cartucho de fundo será submetido a um menor tempo de mistura que a parte inicial do furo (Villaescusa E. 2007). Outro possível impacto a qualidade da resina está correlato a temperatura de instalação, da qual quanto maior, proporcional será a velocidade de cura, devido à reação desta ser exotérmica.

Para garantir uma boa mistura, 30-40 ciclos de rotação são necessários, além de se girar a barra em um sentido, onde a rosca tende à confinar a resina na perfuração.

#### 4.1.4 Comprimento da Ancoragem

Um tirante realiza seu trabalho de transferência de carga devido a interação do sistema resina, tirante e rocha. A eficácia da transferência pode se medir pelo fator GRIP que se define pela resistência do tirante em se resistir ao

arrancamento a cada polegada de ancoramento.

O fator em discussão pode se determinar através de testes de tração (SEPT), da qual os tirantes são ancorados em apenas 12 polegadas de seu comprimento. A expressão para cálculo deste, esta destacada abaixo:

$$\text{Fator GRIP} = \frac{\text{Maximum SEPT Load (tons)}}{12 \text{ in}}$$

#### 4.1.5 Torque

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 torquar 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 à 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 também 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.

#### 4.1.6 Controle de qualidade do funcionamento do sistema e instrumentação

O controle de qualidade operacional, *pull test*, que avalia a eficácia do conjunto de atirantamento, é realizado seguindo sugestões da ISRM (*International Society of Rock Mechanics*) e a ASTM D-4435.

Minerações na Austrália e Chile realizam controle de qualidade nos sistemas de

ancoragens utilizando instrumentos que avaliam a eficiência da coluna do tirante, ou seja, é possível avaliar se o tirante está trabalhando com coluna total de ancoragem, ou se existe algum vazio em algum ponto da coluna. Tal instrumento, o *boltometer*, funciona com o princípio de emissão de um pulso eletromagnético na barra, onde é possível identificar qualquer variação de confinamento no meio onde esse pulso se propaga, neste caso, o tirante.

Tecnologias de instrumentação vêm sendo evoluídas no decorrer dos anos, dentre estes, os tirantes instrumentados (D-Rebar, Yield Point), que trabalham com princípios de funcionamento à base de fibra ótica, que possibilitam avaliar os locais e as demandas de esforços.

#### 4.1.7 Ensaios de Campo

Buscando iniciar estudos detalhados e começar a entender o comportamento das ancoragens químicas, à base de resina de poliéster, nas particularidades (maciços rochosos) das minerações brasileiras, alguns ensaios de campo, foram executados com intenção de avaliar a transferência de carga do conjunto. Os cartuchos de resina utilizados nos testes foram da empresa brasileira Rock Support, que trabalha seguindo normativas internacionais de controle de qualidade de cartuchos de resina.

Os primeiros testes realizados ocorreram na mineração Morro Agudo, de propriedade da Votorantim Metais, em uma litologia SAD (Sequência Argilo Dolomítico), de qualidade de maciço rochoso de RMR=70, ou classe II. A tabela 1, abaixo, apresenta os resultados dos testes em 500 mm de comprimento de ancoragens (perfuração: 33 mm x 500 mm; tirante: 22 mm x 1,5 m; resina: 28 mm x 600 mm).

Tabela 1. Resultados dos testes na mina Morro Agudo da Votorantim Metais.

HORA DE INSTALAÇÃO	TEMPO DE MISTURA*	COMPRIMENTO ANCORAGEM	CARGA APLICADA	HORA DE PULL TEST	OBSERVAÇÕES
14h 18min	30 seg	0,5 m	16 Ton	15h 39min	Teste paralisado (fim de curso do macaco)
14h 37min	30 seg	0,5 m	21 Ton	16h 07min	Teste paralisado (quebra do maciço no colar da perfuração)

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde a década de 60, quando o sistema de resinas de poliéster foi introduzido em minerações metálicas (*hard rock*), falhas no sistema ocorreram, o que acarretou estudos detalhados e melhorias, desde instalação, controle de qualidade de diâmetros ideais, torqueamento à tempo de cura, vem se evoluindo.

Os resultados dos ensaios de campo comprovam que os cartuchos de resina em teste, da empresa Rock Support, tem uma boa performance no quesito transferência de carga. Para os próximos trabalhos, realizar ensaios, com metodologias consagradas SEPT (*Short Encapsulated Pull Test*) em outros litotipos e outras qualidades de maciço rochoso, buscando se conhecer uma transferência de carga por litotipo/macico rochoso, entendendo o comportamento de uma ancoragem química por comprimento em cada particularidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Rock Support por disponibilizar os cartuchos de resina para os testes e Votorantim Metais por disponibilizar os dados.

## REFERÊNCIAS

- Aziz, N. et al. (2006). *Bolt Surface configurations and Load Transfer Mechanism*. (2002) Coal Operator's Conference, University of Wollongong & Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 236-245.
- Craig, P., Nemcik, J., Moslemi, A. (2010). *Evaluating Methods of Underground Short Encapsulation Pull Testing in Australian Coal Mines*.
- Kilic, A. et al. (2002). *Effect of grout properties on the pull-out load capacity of fully grouted rock bolt*. Tunnelling and Underground Space Technology.
- Mark, C. et al. (2000). *Design of Roof Bolt Systems*, Underground Coal Operators Conference.
- Moosav, M. and Karimi, S. (2008). *Corrosion Protection of Rock Bolts by epoxy coating and its Effect on Reducing Bond Capacity*, Underground Coal Operators Conference. Paper 10.
- Newson, S. et al (1998). *The Minova Guide to Resin-Grouted Rockbolts*.
- Paredes, E. M. G. (1994). *Variability of Rock Mass Support vs Lengths of Rockbolts*. Pile, J., Bessinger S.: Short-Encapsulation Pull Testes for Roof Bolt Evaluation at an Operation Coal Mine.
- Tully, D. M. (1987). *Rock Bolt Reinforcement Systems for Coal Mine Roadways*.
- Villaescusa, E. et al. (2007). *Quantifying the performance of resin anchored rock bolts in the Australian underground hard rock mining industry*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences.