

EFEITO DE DESCONTINUIDADES VERTICAIS NA ESTABILIDADE DO TETO E O DESAFIO NO CONTROLE DE MACIÇO – UM ESTUDO DE CASO

Andre ZINGANO¹; Li YANG²; Alberto FRONZA³; Alexandre FAUTH⁴

¹UFRGS, andrezin@ufrgs.br; ²China Mining and Technology University, Beijing, kobe8leon@163.com, ³UFRGS, alberto.gfronza@gmail.com; ⁴Cia Carb Rio Deserto, alexandre.eduardo@riodeserto.com.br

RESUMO

O controle imediato do teto é muito importante para a segurança e a estabilidade das entradas na mineração de carvão. É também o mais alto custo na operação de mineração de carvão, e fragmentação do teto é diretamente responsável pela contaminação de carvão. O teto imediato nas minas de carvão no estado de Santa Catarina varia litologia e na presença de estruturas tais como aviões, fraturas verticais que cortam a laminação, arenito ou Siltito pedregulhos como o fundamento. A presença e o cruzamento destas estruturas devem influenciar a decisão da especificação do suporte do teto. Além disso, a variação da camada de rocha e a qualidade do teto deve ser imediatamente seguida pela variação da especificação de suporte. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento da cobertura imediata para diferentes condições geológicas e estruturais durante a escavação de entradas, incluindo a alteração da geometria de entrada em função do tempo, incluindo o efeito de fraturas verticais que atravessam os aviões do fundamento do teto e a posição dessas fraturas no teto. Também é estudado o efeito do tempo entre a escavação e suporte para a estabilidade do teto. Este estudo utiliza metodologias empíricas para o projeto de apoio e métodos numéricos em dois para estudar o comportamento do teto ancorado para diferentes cenários propostos. Os resultados deste trabalho mostram a importância da caracterização da qualidade do teto em termos do tipo de rocha e sua espessura e a presença de fratura vertical que corta os aviões do fundamento do teto imediatamente.

Palavras-chave: suporte de teto, geologia estrutural, métodos numéricos

ABSTRACT

The immediate roof control is very important to the security and stability of the entries on coal mining. It is also the highest cost in coal mining operation, and roof spalling is directly responsible for coal contamination. The immediate roof in the coal mines in the State of Santa Catarina varies in lithology and in presence of structures such as bedding planes, vertical fractures that cut lamination, sandstone, or siltstone boulders like. The presence and crossing of these structures should influence the decision of the specification of the roof support. Furthermore, the variation of rock layer and quality of the roof must be immediately followed by the variation of support specification. This work aims to study the behavior of the immediate roof to different geological and structural conditions during the excavation of entries, including the changing of the geometry of the entry as a function of time, including the effect of vertical fractures that cross the bedding planes of the roof and the position of those fractures on the roof. It is also studied the effect of time between excavation and support for stability of the roof. This study uses empirical methodologies for support design and numerical methods in two to study the behavior of roof anchored to the different scenarios proposed. The results of this work show the importance of quality characterization of the roof in terms of the type of rock and its thickness and the presence of vertical fracture that cut the bedding planes of the roof immediately

Keywords: roof support, structural geology, numerical methods

1 INTRODUÇÃO

O teto imediato em uma mina de carvão pode variar em termos de tipologia e suas características estruturais, como bandamentos, juntas verticais e o espaçamento entre essas descontinuidades. Neste caso, o suporte de teto deve ser especificado com base nas características das camadas do teto e sua classificação. Unal (1983) e Mark, Molinda e Dolinar (2001) sugerem o plano de suporte de teto baseado na classificação RMR – Rock Mass Rating e CMRR – Coal Mine Roof Rating, respectivamente, que são as classificações de maciço de rocha. Esses métodos baseiam-se na construção da viga dentro da própria camada, sendo os bandamentos amarrados juntos usando o parafuso de teto completamente resinado, i.e., coluna total. O parafuso pode ser pré-tensionado ou não, dependendo do tempo de cura da resina.

O problema é que as juntas verticais que cortam os planos de bandamento da camada do teto, os quais criam blocos de rocha que poderiam cair do teto durante a operação do minerador contínuo ou até um dia depois, também durante a operação de suporte de teto. A Figura 1 mostra algumas juntas verticais que cortam os bandamentos horizontais da camada de arenito laminado. O bloco de rocha em queda pode causar lesões porque os blocos podem se liberar a qualquer momento durante as operações de escavação e suporte. Muitos acidentes foram registrados nos últimos anos devido a esse tipo de problema. Por esta razão, os operadores do minerador contínuo ou da perfuratriz de teto tentam forçar a queda dos blocos de rocha usando a haste ou o CM. As consequências são: baixa produtividade, alto custo, maior diluição do carvão devido à parte do teto ser escavada para forçar a queda desses blocos.

Algumas vezes, o intervalo de tempo entre as operações de corte e suporte de teto é muito alto. Portanto, o teto tem muito tempo para se deformar e mover, sendo o suficiente para liberar alguns blocos e desarmar a viga do teto antes da instalação dos parafusos de teto. Também, quando a perfuratriz toca o teto com a haste, que provoca a vibração suficiente para causar a queda de blocos de rocha e, às vezes, uma ruptura total do teto.

A presença de juntas verticais curvas torna difícil criar e formar a viga com os parafusos de teto, porque o teto se transforma em um tipo de viga em balanço (cantilever) ao invés de uma viga tradicional apoiada ou engastada em de dois pontos (pilares). A viga em balanço é mais instável, e precisa de mais

atenção dos operadores durante a operação (Figura 1).

Dependendo do lado onde está a fratura vertical, o risco de falha no teto é alto. Se as juntas estão de preferência do lado esquerdo e o corte iniciar à esquerda, o risco de ter um caimento de bloco é maior, também a operação de apoio seria mais difícil porque o tempo para suportar o teto instável e em blocos é menor.

Figura 1 - fotos do teto com juntas verticais e blocos.



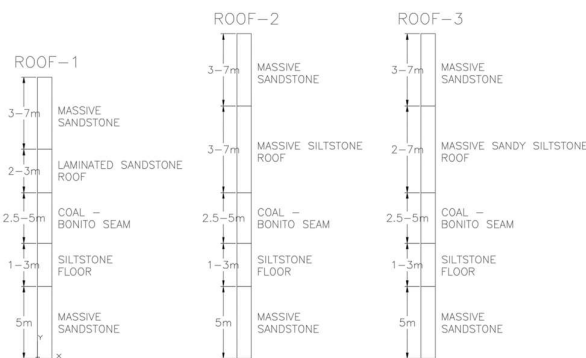


Fonte: autor.

2 GEOLOGIA E PROPRIEDADES MECÂNICAS

Como descrito antes, há geologia diferente das camadas do teto e suas características mecânicas para diferentes locais, mesmo em pequenas distâncias, incluindo o tipo de rocha e descontinuidades (bandamento e juntas verticais). A Figura 2 mostra três tipo de camadas de teto que foram encontrados na mina Cruz de Malta.

Figura 2 – geologia do teto tipo encontrado na mina de Cruz de Malta



Fonte: Autor

A classificação do maciço rochoso havia sido determinada baseada na descrição das sondagens e testes de laboratório de mecânica de rocha (principalmente testes triaxiais). O método de classificação geomecânica do maciço rochoso aplicado foi: RMR – Rock Mass Rating (Bieniawski, 1988) e o CMRR – Coal Mine Roof Rating (Molinda e Mark, 1994; Mark e Molinda, 2005). O método de ambos são semelhantes, e o RMR foi usado para determinar as propriedades mecânicas das camadas. A tabela 1 apresenta essas propriedades. O critério de ruptura de Hoek-Brown foi o método para definir as propriedades mecânicas do maciço rochoso para cada camada

3 APLICANDO ABORDAGEM EMPÍRICA

Os métodos empíricos usados para projetar o suporte de teto para os três tipos de teto são as ARBS – Analysis of Roof Bolt System (Mark, Molinda e Dolinar, 2001) e RMR (Unal, 1983) usando a altura de carregamento para definir o comprimento do parafuso de teto e a carga sobre o suporte de teto. A tabela 2 mostra os resultados para os dois métodos. Pode-se observar que os dois métodos sugeriram comprimento do parafuso menor que o aplicado atualmente. A questão é o efeito de juntas verticais, com o apoio de teto. Essas abordagens não consideram diretamente o efeito conjunto vertical e o comportamento da viga em balanço (tipo cantilever) no teto.

A causa que o apoio do teto não está funcionando corretamente é o sistema de juntas vertical que poderia liberar blocos de rocha e desarmar a viga. Além disso, a viga construída não é uma viga de suporte em dois pontos, é uma viga em balanço (cantilever).

Tabela 1 – Propriedades de massa de rocha.

Tipo de Rocha	Densidade (kg/m ³)	Y.Mod (Pa)	Poisson	RMR	mi	σ _c (MPa)	σ _t (MPa)
Arenito maciço	2600	14e9	0.20	75	12	80	6
Maciço de Siltito	2500	7e9	0.30	50	6	30	1
Siltito	2500	7e9	0.25	55	7	35	2
Massivo teto Siltito	2500	5e9	0.32	45	6	30	2
Teto de Siltito Sandy	2500	9e9	0.25	50	7	40	2
Laminado de arenito	2500	12e9	0.22	60	10	60	3
Carvão – costura Bonito	2200	8e9	0.30	55	8	25	1

Tabela 2 – abordagem empírica para projeto de sustentação do teto

Tipo de teto	Unal (1983)			Mark. Molinda, Dolina (2001)		
	RMR	ht	Comp. Parafuso (m)	ARBS Corrente	ARBS Sugerido	Comp. Parafuso (m)
Siltito	45	3.3	1.7	16.8	5.0	1.4
Siltito Arenoso	50	3.0	1.5	16.8	2.4	1.2
Arenito	60	2.4	1.2	Suspensão – não aplica		

4 MÉTODO NUMÉRICO

Os modelos numéricos foram construídos usando Rocscience Inc. v. 9 o RS2. O modelo numérico tenta entender a viga em balanço como o comportamento do teto e o efeito do apoio é aplicada e uma pequena parte da mudança para melhorar a estabilidade do teto. A geometria dos modelos é apresentada na Figura 3. O modelo tem três entradas com 6m de largura com e 3,5 m de altura. Os pilares são com 14m de largura. A diferença entre os modelos é apenas o tipo de rocha e fundamento do espaçamento das bandas horizontais. O sistema de parafuso é o mesmo que é atualmente aplicado na mina.

As propriedades mecânicas das bandas horizontais e juntas verticais usadas na ferramenta que representa juntas e fraturas no RS2. As bandas horizontais são interfaces horizontais com espaçamento de 0,2 m. As juntas verticais são quase verticais que cortam as bandas horizontais. As propriedades mecânicas para as interfaces estão na tabela 3.

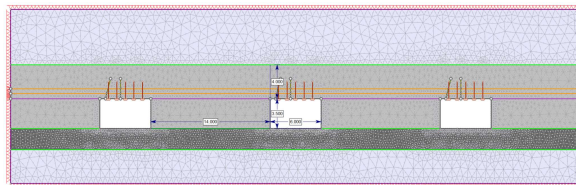
Tabela 3 – propriedades mecânicas para as descontinuidades no teto

Tipo	Coesão (MPa)	Fricção	Coesão Res. (MPa)	Fricção Res.	Kn	Ks
Planos de Banda Horizontais	0	35°	0	25°	1e6	1e5
Juntas Verticais	0.1	25°	0	5°	1e6	1e5

No modelo a gravidade é uma das tensões principais, sendo a camada de carvão com 90m de profundidade, a tensão horizontal é duas vezes a tensão vertical. O efeito tempo no RS2 se baseia a

separação do carregamento do teto e distribuição de tensões em cada etapa do modelo, como o carregamento da curva de reação. A carga foi dividida em 30% entre a escavação e suporte de teto e 70% da carga após o suporte de teto. O tempo entre a escavação e operação de suporte de teto é definido pela quantidade de carga que deve ser alocada antes de aplicar o suporte de teto para simular essa lacuna.

Figura 3 – geometria do modelo numérico para o comportamento de estudo de suporte de teto.



Fonte: autor

Os modelos numéricos verificam o movimento do teto com nenhum parafuso de teto, a tensão de cisalhamento no teto e nas juntas verticais. Três modelos do tipo de teto foram construídos: (i) laminado arenito; (ii) Siltito maciço e (iii) Siltito arenoso.

O arenito laminado tem o espaçamento entre as bandas horizontais cerca de 0,2 m ao primeiro metro do teto, e duas juntas verticais cortam os planos horizontais e cria uma viga em balanço (cantilever). As figuras 4 e 5 mostram a evolução do deslocamento e cisalhamento vertical no teto, respectivamente. É possível observar que não há tensão de cisalhamento alta no canto direito do teto causado pelo movimento dos planos horizontais e no canto com o pilar. Não há nenhuma tensão de cisalhamento no lado esquerdo porque o teto é livre para se mover para baixo. O deslocamento vertical com nenhum parafuso é cerca de 9,5 cm, enquanto

aparafusado é apenas 2,4 mm. O detalhe é que o primeiro parafuso da esquerda cruzar a junta vertical e suspende a viga em balanço. Então, o teto se transforma uma viga tradicional apoiada em dois pontos.

Para os dois outros maciços (Siltito e Siltito arenoso), há menos planos horizontais, mas mesmas as juntas verticais estão presentes para simular a viga em balanço. As figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os resultados para esses tipos de tetos.

A simulação com nenhum parafuso de teto para ambos teto tipo mostrar alto deslocamento, que representam o bloco de pedra cairia com certeza. As figuras 7 e 9 que representam o movimento do teto mostram o bloco separado do teto, com o exagero da escala. Os modelos que estão simulando o teto sem parafuso não apresentam o efeito do tempo. Mas no campo é observado o que os blocos que estão localizados na face do teto imediatamente experimentam a queda logo após o corte. Alguns outros caem durante a operação de suporte de teto.

Os modelos que simularam o efeito do parafuso de teto consideraram o intervalo de tempo entre o corte e a instalação do tirante pela ferramenta de divisão de carga do RS2, que representa a curva de reação da pressão sobre o suporte do teto e a reação do apoio (Hoek et al., 1998). Nesse caso, o tempo entre o corte e aparafusamentos representa 30% da carga de teto. Os outros 70% da carga de teto foi aplicado após a fixação e o suporte reagiu a esta carga.

A simulação de aparafusamentos segue a mesma especificação do suporte do teto atual aplicado na mina. Nas figuras 4, 6 e 8 é possível observar que a tensão de cisalhamento diminui quando instalar o sistema de parafuso. Isso ocorre porque o raio juntos até as descontinuidades e altera a viga cantilever para um feixe de dois pontos regulares. O deslocamento vertical simulado para ambos teto é 2,4 mm, que representam a boa eficiência do teto para formar a viga.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o efeito das juntas verticais sobre o movimento do teto e o efeito do suporte de teto e efeito do tempo. As juntas verticais alteraram o conceito de teto tradicional com dois pontos de apoio para uma viga do teto tipo em balanço (cantilever) com um lado livre para se mover.

Além disso, as juntas verticais que cortam os planos horizontais que formam blocos de rocha, os quais podem cair do teto durante operações de corte e suporte de teto.

É necessário verificar quanto a operação de corte tem efeito sobre os blocos no sentido de soltar o bloco devido a vibração causada pelo minerador contínuo. Aqui, alguns aspectos operacionais não foram considerados como a vibração do tambor do CM quando toca o teto. Este estudo será o próximo passo. Além disso, o efeito da sequência de corte e uma camada de carvão fina para evitar vibração direta ao teto frágil.

6 REFERÊNCIAS

- BIENIAWSKI, Z.T., Rock mass classification as a design aid in tunneling. *Tunnels and Tunneling* 29, 19– 23., 1988.
- HOEK, E., KAISER, P.K., BAWDEN, W.F., Support of underground excavations in hard rock, A.A. Balkema, 228 p., 1998
- MARK, C., MOLINDA, G., AND DOLINAR, D., Analysis of Roof Bolt Systems; 20th International Conference on Ground Control in Mining, Syd Peng. Ed., pp 218-225, Morgantown, USA., 2001
- MOLINDA, G., MARK, C. The Coal Mine Roof Rating (CMRR)-A practical rock mass classification for coal mines. USBM IC9387. 83 pp., 1994.
- MARK, C., MOLINDA, G., The Coal Mine Roof Rating (CMRR) - a decade of experience, *International Journal of Coal Geology*, v.64, Issues 1-2, pp. 85-103, Elsevier Pub., 2005
- UNAL, E., Design guidelines and roof control standards for coal mine roofs, PhD Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355p., 1983

Figura 4 – tensão de cisalhamento em torno da galeria para o teto de arenito laminado.

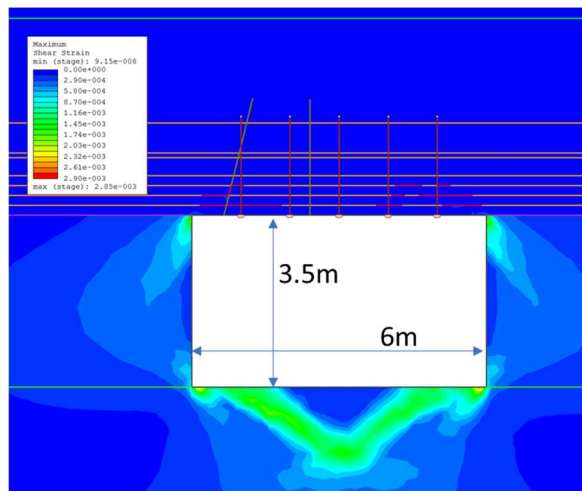
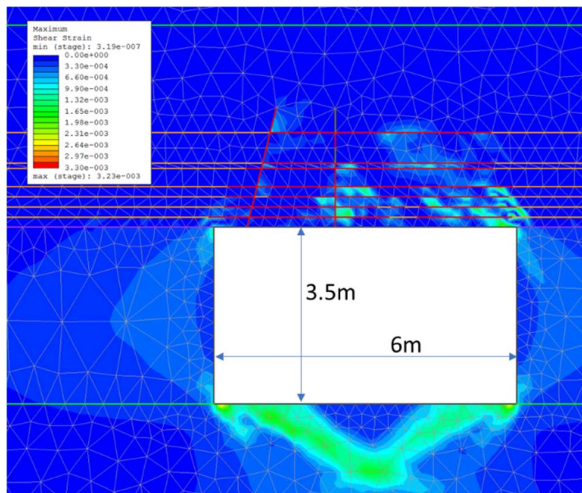


Figura 5 – Deslocamento Vertical do teto por teto de arenito laminado.

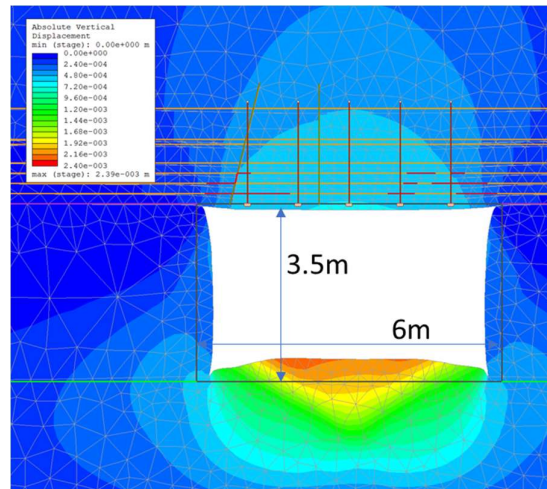
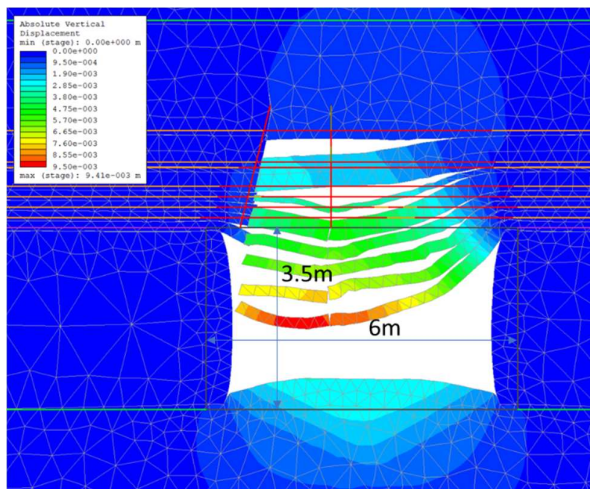


Figura 6 – tensão de cisalhamento em torno a escavação para siltito maciço.

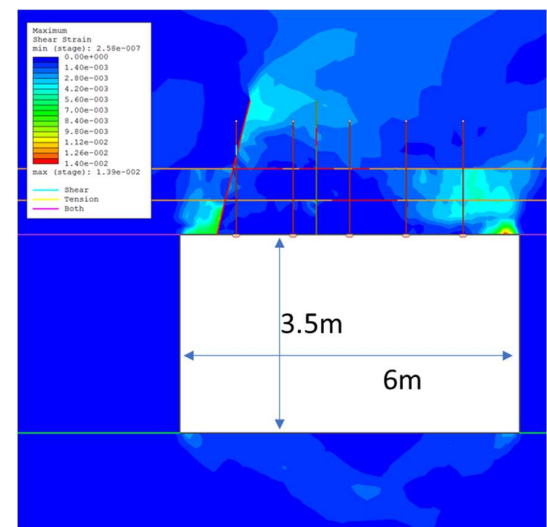
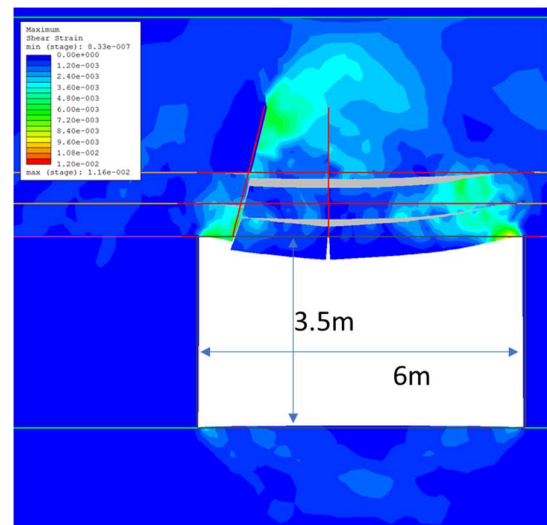


Figura 7 - Deslocamento vertical do teto para teto siltito maciço.

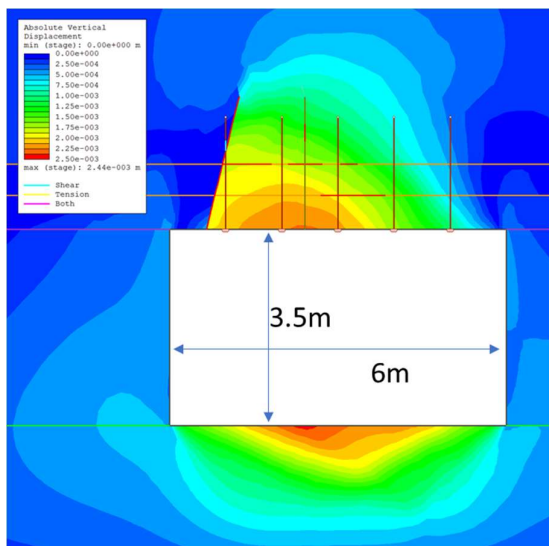
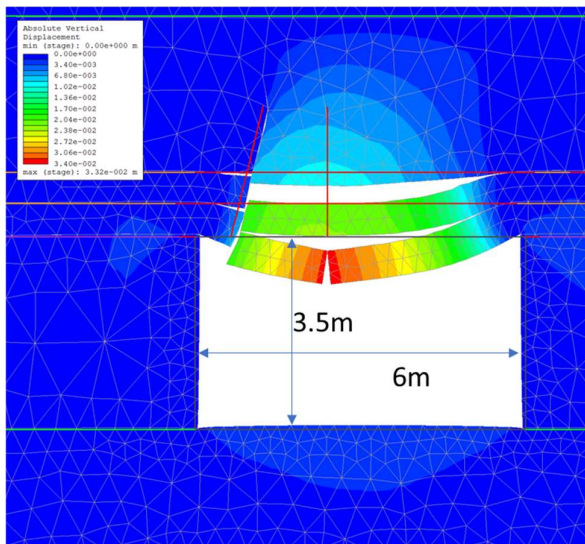


Figura 8 – tensão de cisalhamento em torno a escavação para maciço Siltito arenoso.

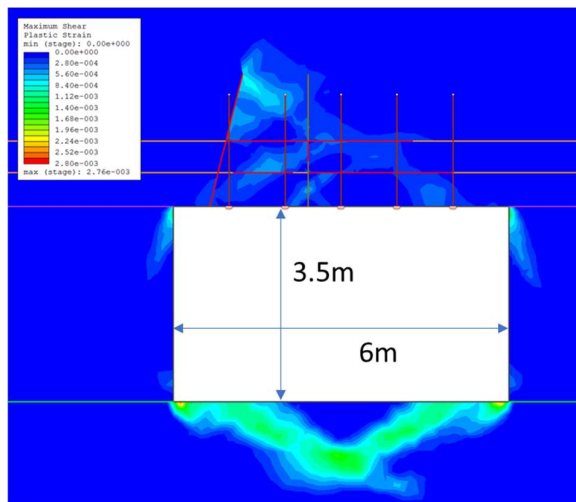
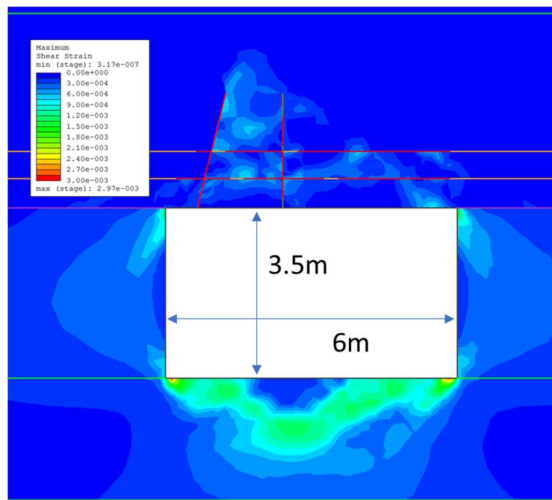


Figura 9 - Deslocamento vertical do teto por teto maciço siltito arenoso.

