

2

Influência da temperatura na estabilidade de talude em rocha

As rochas submetidas a ciclos de aquecimento, pela radiação solar, e esfriamento dão origem a tensões diferenciadas que conduzem ao fissuramento e a degradação da rocha. Este fissuramento, que pode levar a rocha à ruptura, poderia acontecer por diferentes mecanismos, mencionamos alguns deles: propagação de fraturas não persistentes, intemperismo gradual das fraturas, deformação da rocha em profundidade. Estes mecanismos foram objeto de estudo de alguns pesquisadores, na Tabela 2.1 se menciona algumas destas pesquisas.

A propagação de fraturas não persistentes poderia se dar com a variação do fator de intensidade de tensão, que se dá pela variação da temperatura. O fator muda de forma inversamente proporcional com a temperatura. As fraturas vão se interconectar como resultado da propagação, gerando em um talude uma superfície de possível ruptura.

Outro mecanismo é o intemperismo gradual das fraturas. A flutuação da temperatura faz que o intemperismo seja contínuo e repetitivo.

O efeito da temperatura não só afeta à superfície exposta aos raios do sol, além disso, a temperatura vai penetrar na rocha. Este aprofundamento da temperatura, por condução, pode chegar até vários metros de profundidade, originando assim uma variação do estado de tensões e um reordenamento destas, ocasionando a deformação da rocha.

Caso #	Mecanismos de fissuramento	Referência
1	Propagação de fraturas não persistentes	Vargas, E. JR. et al., <i>On the Effect of Thermally Induced Stresses in Failures of Some Rock Slopes in Rio de Janeiro, Brazil.</i>
2	Erosão gradual das fraturas	Gunzburger, Y.; Merrien-soukafchoff, V.; Guglielmi, Y. <i>Influence of daily surface temperature fluctuations on rock slope stability: case study of the Rochers de Valabres slope (France).</i>
3	Deformação da rocha em profundidade	Gischig, V. S. et al., <i>Thermomechanical forcing of deep rock slope deformation 1: Conceptual study of a simplified slope.</i>

Tabela 2.1. Estudos de alguns mecanismos de fissuramento produto da mudança da temperatura.

2.1.

Estudos dos mecanismos de fissuramento

2.1.1.

Propagação de fraturas não persistentes

Este mecanismo foi estudado por Vargas (Vargas et al., 2012), neste estudo foi feita uma análise numérica em um código de elementos finitos (ABAQUS), a análise foi feita em uma geometria hipotética, um bloco de 6.0m x 1.0m, com uma inclinação de 60° e uma fratura no meio do bloco. Nesta análise

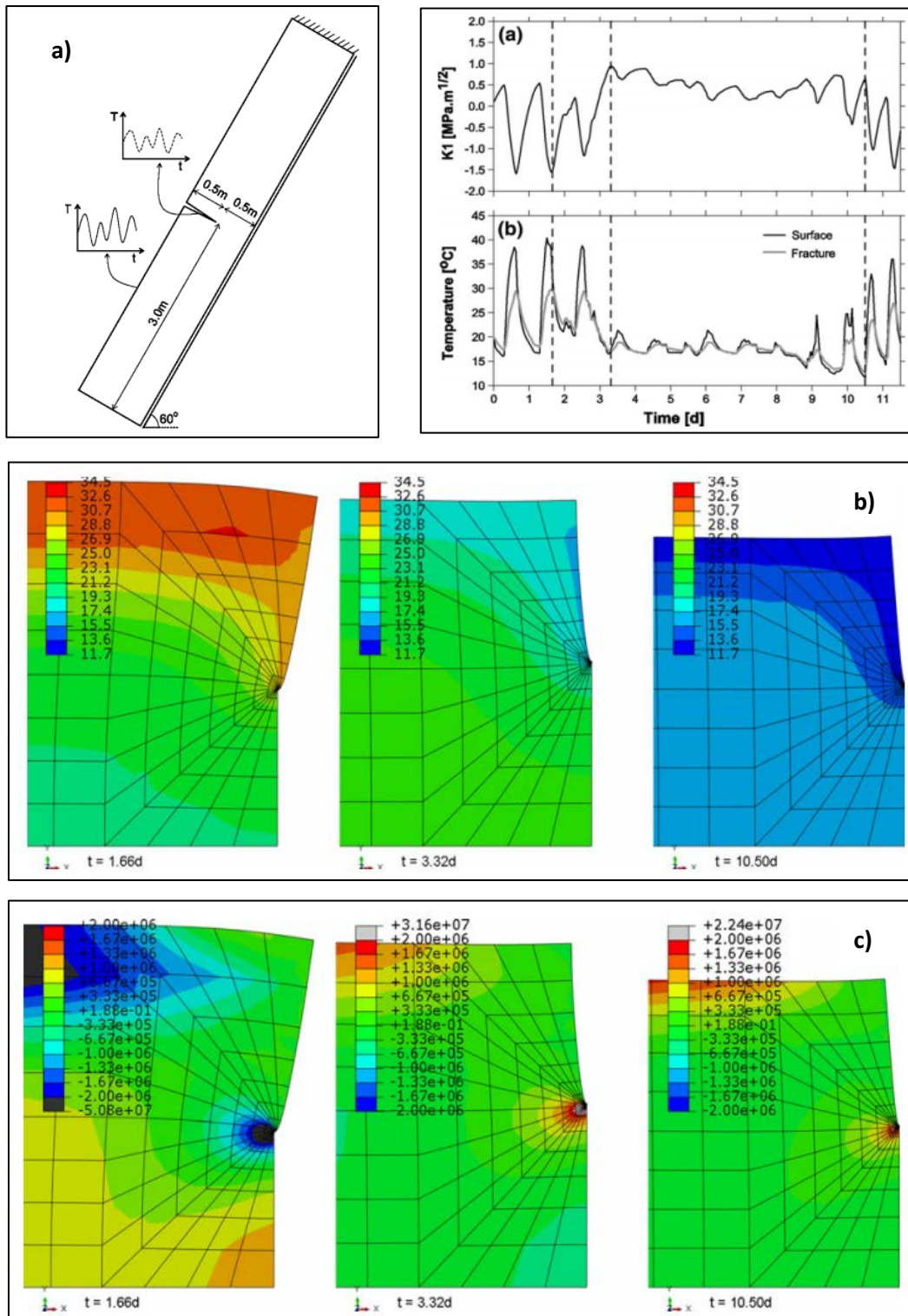


Figura 2.1. Análise termomecânica. a) Geometria do modelo e, a variação da temperatura e o fator de intensidade de tensão. b) Temperatura do bloco em três tempos determinados usando o ABAQUS. c) Tensão normal na direção “x” (Vargas et al., 2012).

mostra-se que o fator de intensidade de tensão da fratura muda de forma inversamente proporcional em relação à temperatura. O trabalho conclui que as tensões térmicas são capazes de criar condições para que as fraturas não persistentes possam se propagar. A Figura 2.1 mostra o modelo analisado e os resultados obtidos.

2.1.2.

Intemperismo gradual das fraturas

A região sul dos Alpes da França é especialmente propensa a perigos de movimento de massas de talude. Na zona denominada Rochers de Valabres, no ano 2000 ocorreu uma queda de blocos, causando danos materiais. Este evento não coincide com nenhuma precipitação de chuva, atividade sísmica ou alguma outra causa imediata que possa originar uma queda de blocos. Gunzburger et al., motivado pela dificuldade de identificar alguma explicação para este evento, realizou uma análise numérica em 2D (duas dimensões) do talude (Gunzburger et al., 2005). A análise numérica foi comparada com os dados obtidos através de um equipamento geodésico, que foi colocado no talude para captar os movimentos induzidos pela temperatura. Este análise confirma que, a flutuação diária da temperatura é capaz de induzir deformações plásticas diárias nas fraturas. No início a temperatura induz deslocamentos permanentes ao longo de algumas fraturas (Figura 2.2), isto contribui a preparação do talude para uma queda de blocos.

2.1.3.

Deformação da rocha em profundidade

A deformação termo elástica em um talude em rocha é considerada geralmente de menor importância e limitada a profundidades rasas, sujeitas a variação térmica. Neste estudo Gischig (Gischig et al., 2011) demonstra como os efeitos termodinâmicos podem conduzir a deformação de um talude de rocha em maiores profundidades abaixo das camadas térmicas ativas, o estudo foi realizado em um talude localizado acima da cidade de Randa, ao sul da Suíça.

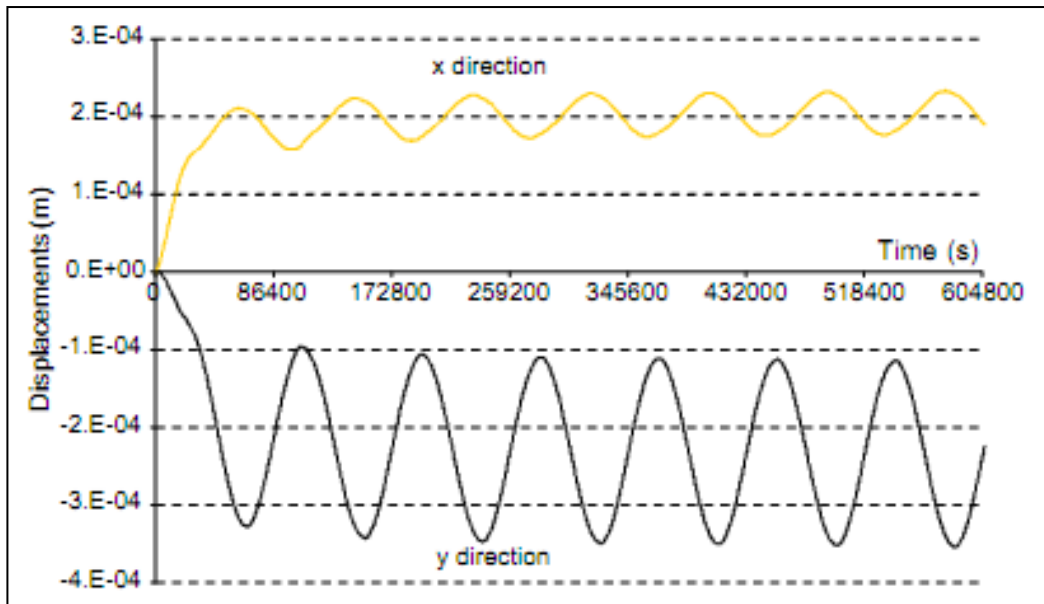


Figura 2.2. Deslocamento de um ponto do bloco analisado nas direções “x” e “y” (Gunzburger et al., 2005).

No estudo se realizou uma modelagem numérica em duas dimensões, utilizando o software comercial UDEC (Universal Distinct Element Code, Versão 4.0, Itasca, 2008), a geometria usada foi um talude de 200m de altura, com uma inclinação de 60°. Na Figura 2.3 se podem ver os deslocamentos de seis pontos, localizados em diferentes profundidades desde 0m até 100m. A mudança da temperatura, de forma cíclica, gera em profundidade uma redistribuição das tensões, isto pode levar a escorregar o talude, sempre que o estado de tensão ao longo das fraturas esteja perto da ruptura. A propagação das tensões na profundidade depende das propriedades elásticas do maciço rochoso. Os efeitos termomecânicos vão variar para diferentes orientações das descontinuidades.

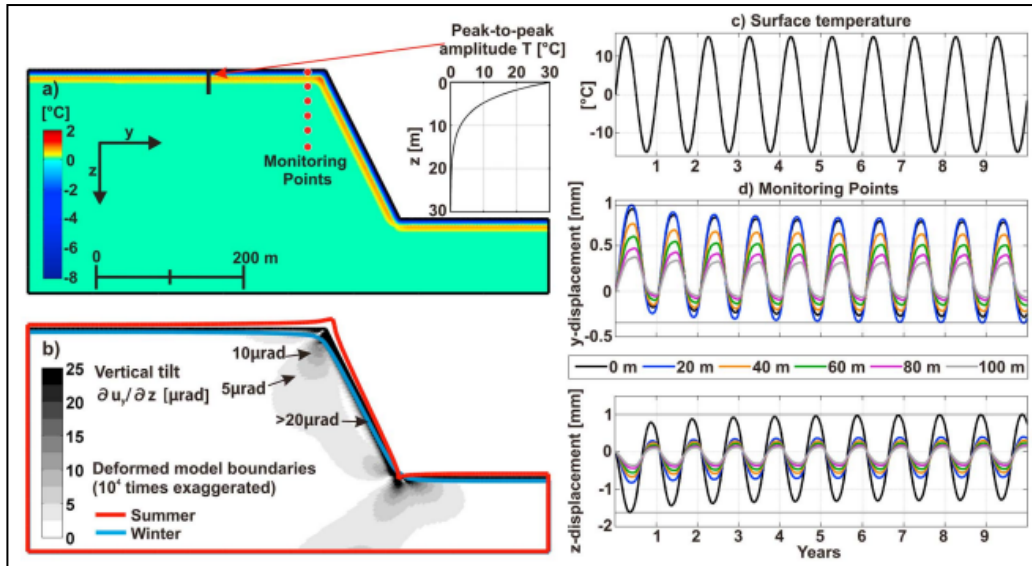


Figura 2.3. a) O campo de temperatura após de dez anos de flutuações térmicas. Os pontos de cor vermelha são os pontos que foram monitorados. b) A amplitude de maior até o menor valor da inclinação vertical induzida pela deformação termo elástica no subsolo. Também estão incluídos os limites do modelo de deformação para quando a temperatura na superfície é mínima e máxima. c) Variação da temperatura no período de dez anos. d) Deslocamentos dos seis pontos que foram monitorados numa faixa de profundidade de 0 até 100m. As amplitudes dos deslocamentos diminuem em profundidade, mas não é menor que 30% da amplitude de deslocamento da superfície para uma profundidade de 100m. (Gischig et. al., 2011).