

## 7 Conclusões e Sugestões

### 7.1. Conclusões

No trabalho é validada a implementação numérica, da análise do fluxo saturado-não saturado, baseada no método dos elementos finitos. Esta análise é feita através dos exemplos que abrangeram situações de fluxo 1D e 2D. Os resultados obtidos foram comparados com resultados gerados pelo programa comercial HYDRUS 2D. De maneira geral os resultados foram considerados satisfatórios e a ferramenta adequada ao fim a que se destina.

O método de análise limite inferior baseado em formulações de elementos finitos para a obtenção das equações de equilíbrio do domínio e no critério de resistência de Mohr Coulomb no espaço cônico quadrático é utilizado na avaliação da estabilidade de talude. A análise limite fornece os Fatores de segurança ao colapso (*FS*) associado aos Fatores de Redução dos parâmetros de resistência do solo. O Fator de Redução correspondente ao Fator de segurança ao colapso  $\lambda = 1$  é definido como Fator de Segurança (*FS*) do talude.

A análise limite mostrou várias e importantes vantagens, que a tornam uma opção muito atraente para a análise de estabilidade. Estas vantagens são: o método de análise limite requer apenas os parâmetros de resistência do modelo de resistência de Mohr Coulomb; o método é perfeitamente adequado para utilização da técnica de redução dos parâmetros de resistência, a técnica pode ser estendida a problemas 3D sem grandes dificuldades; a técnica é computacionalmente eficiente e simples de usar. A análise limite consegue incorporar o efeito das pressões intersticiais geradas pela infiltração de água dado que o método se baseia no conceito de elementos finitos. Ele pode modelar a heterogeneidade, anisotropia, formas de contorno complexas, e geometrias arbitrárias.

Finalmente é realizada a validação da implementação das ferramentas numéricas que permitem a determinação do índice de confiabilidade de taludes mediante a validação do problema proposto por Gavin e Xue (2009). Demonstra-

se que a teoria de confiabilidade pode ser aplicada a estabilidade de taludes através de procedimentos simples e necessita, como informações adicionais, apenas as propriedades estatísticas das variáveis aleatórias do problema (geralmente parâmetros de resistência do solo) que não são usadas nas análises determinísticas convencionais. A resposta da Análise de Confiabilidade pode ser a probabilidade de falha ou o índice de confiabilidade do talude.

A utilização do método de superfície de resposta para estabelecer a função de falha  $g(\mathbf{X})$  mostrou-se apropriada para a determinação do índice de confiabilidade, fazendo com que tanto o método de Monte Carlo quanto o FORM (*First Order Reliability Method*) sejam eficientes computacionalmente.

Para a utilização da superfície de resposta não é necessário o uso de todos os parâmetros de resistência, verifica-se no trabalho, que a coesão e o ângulo de atrito do material são as variáveis aleatórias que controlam a probabilidade de falha do talude, mas, o parâmetro mais importante é a coesão. Este fato fica demonstrado no estudo de fator de importância das variáveis aleatórias do problema do talude infinito, no qual, a função de falha é explícita e o fator de importância da coesão é de 95%.

O fator de segurança e o índice de confiabilidade se mostram sensíveis à variação da carga de pressão durante o processo de infiltração de água devido à chuva. Um acréscimo acentuado na saturação corresponde a um decréscimo da resistência não saturada, como consequência do avanço da frente de umedecimento.

Dois exemplos de aplicação são apresentados. No primeiro exemplo, analisa-se uma região da encosta, de Coos Bay em Oregon, Estados Unidos, no qual três casos de infiltração são estudados no intuito de reproduzir o evento de deslizamento acontecido no ano de 1996. O objetivo desse exemplo é demonstrar a potencialidade da metodologia proposta para geração do fator de segurança e índice de confiabilidade ao longo do tempo durante um evento de chuva. Comprova-se que a metodologia é passível de ser utilizada. A aleatoriedade das propriedades de resistência é considerada na fase de análise de confiabilidade em áreas extensas no exemplo de aplicação para tornar a representação dos fenômenos simulados mais realista.

No segundo exemplo de aplicação, analisa-se a encosta, da Vista Chinesa do Rio de Janeiro. Neste exemplo foram avaliados os 22 dias de chuva acontecidos

no mês de fevereiro de 1988 que levou a encosta ao colapso. A geração do fator de segurança e do índice de confiabilidade, durante os 22 dias demonstra que a consideração da variação da sucção torna os resultados mais realistas. A partir do dia 19 ao dia 22 foram obtidos valores de  $FS < 1$  estes forneceram valores de índice de confiabilidade ( $\beta$ ) iguais à zero ou perto de zero. Isto sugere que poderiam se considerar mais variáveis aleatórias na geração da superfície de resposta.

Os exemplos estudados com fins de validação apresentam bons resultados, até alcançar valores de  $FS$  perto de um ou um, sugerindo que a metodologia apresentada pode ser aplicada em problemas práticos de Engenharia Geotécnica.

## **7.2.** **Sugestões para futuros trabalhos**

Sugere-se a implementação da metodologia apresentada em taludes tridimensionais de modo a ter um modelo que represente melhor a geometria do talude.

As Superfícies de Resposta usadas nesse trabalho são sempre função de apenas duas variáveis aleatórias. Sugere-se a implementação de outras técnicas de geração de Superfície de Resposta assim como superfícies com mais de duas variáveis aleatórias.

Nesse trabalho, o problema de fluxo é analisado como problema determinístico. O uso de variáveis aleatórias no problema de fluxo tornaria a análise de confiabilidade do deslizamento de taludes mais precisa.

Sugere-se uma análise de importância dos parâmetros tais como porosidade, permeabilidade saturada e carga de pressão. Segundo esta podem se considerar como mais variáveis aleatórias para a geração de superfície de resposta.

O acoplamento fluxo mecânico considerando a aleatoriedade dos parâmetros dos materiais mecânicos e hidráulicos como variáveis aleatórias é um tema de pesquisa atual e importante.