

6. Conclusões e recomendações para futuras pesquisas

Esta pesquisa procurou contribuir para ampliar o conhecimento existente sobre os movimentos de massa do tipo fluxo de detritos, além de gerar, em conjunto com outros trabalhos de pesquisa do Grupo de Pesquisa sobre *Debris Flow* da COPPE-UFRJ e PUC-Rio, uma base de dados sólida que possa ser utilizada no futuro para prever estes movimentos através de simulações numéricas.

A pesquisa consistiu de diferentes atividades, destacando-se as seguintes:

- Foram caracterizados 4 eventos de fluxos de detritos deflagrados por precipitações de alta intensidade acontecidos na Costa Rica e no Brasil.
- Foram determinados os principais parâmetros dos fluxos de detritos estudados através da análise numérica dinâmica, em 2D e 3D;
- Foram comparados os resultados obtidos das retroanálises realizadas em 3D com as modelagens realizadas em 2D e as observações registradas para cada um dos eventos estudados.

O objetivo deste capítulo é apresentar as conclusões do trabalho realizado e recomendações que sirvam como guia para futuros trabalhos.

6.1. Conclusões

As conclusões desta pesquisa são divididas em conclusões gerais e específicas sobre a modelagem numérica e os casos de estudo.

Em relação à análise dinâmica, destacam-se as seguintes:

- Das modelagens numéricas realizadas foi corroborado que o modelo de Voellmy é apropriado para simular eventos de fluxos de detritos;
- A melhor forma de estimar os parâmetros reológicos do modelo de Voellmy é utilizando ferramentas que permitam realizar análises de sensibilidade, como por exemplo o módulo SENSAN do programa PEST. Em caso de não contar com uma

ferramenta como o SENSAN, o programa o DAN-W apresenta-se como uma boa opção para determinar os parâmetros reológicos do modelo de Voellmy, pois a introdução dos dados de entrada é fácil e o tempo de simulação é relativamente curto quando comparado com o DAN3D;

- Foi encontrada boa correspondência entre os resultados obtidos pelo DAN-W e o DAN3D, indicando que ambos os programas podem ser utilizados para a simulação de fluxos de detritos;
- Foi corroborado que o DAN3D é um programa que apresenta melhores aproximações com os eventos reais do que o DAN-W, pois é um programa em 3D que apresenta a distribuição espacial dos resultados e permite um melhor entendimento do fenômeno;
- A análise dinâmica no DAN3D mostrou alta sensibilidade à correta bifurcação da zona de iniciação observada nos fluxos de detritos de Córrego D'Antas e Hospital São Lucas;
- A inserção dos dados de entrada do DAN-W é mais fácil e o tempo de computação é inferior quando comparados com os do programa DAN3D, fazendo dele um programa mais amigável;
- O parâmetro de velocidade, obtido por meio de simulação numérica, diminui com o aumento da trajetória do movimento. Porém, os parâmetros de altura do fluxo e profundidade de deposição aumentam com o aumento da trajetória do movimento.

Em relação aos eventos de fluxo de detritos analisados, destacam-se as principais conclusões:

i. Fluxo de detritos Calle Lajas

- O evento foi iniciado como um pequeno escorregamento lateral de terra na parte alta da encosta que se encaixou num talvegue existente, deflagrando um segundo movimento de fluxo de detritos;
- O programa DAN3D forneceu diferenças percentuais menores em comparação ao DAN-W, exceto no caso de distância percorrida;
- A maior diferença porcentual entre as modelagens no DAN-W e no DAN3D foi de 17% para a extensão da área de deposição.

ii. Fluxo de detritos Llano de la Piedra

- O evento consistiu de um escorregamento rotacional na parte alta da encosta que atingiu um depósito pretérito de colúvio, transformando-se em um fluxo de detritos;
- Este foi o único caso em que o programa DAN-W forneceu menores diferenças percentuais que os resultados do programa DAN3D ao se comparar com os dados observados do evento;
- A maior diferença percentual entre as modelagens realizadas no DAN-W e no DAN3D corresponde à área de deposição.

iii. Fluxo de detritos Córrego D'Antas

- O evento de Córrego D'Antas teve seu início no topo do maciço rochoso, no contato no contato solo/rocha, onde aconteceu um desprendimento de material que prosseguiu orientado por uma linha de fraturas, gerando o fluxo de detritos;
- A maior diferença percentual entre as observações e a modelagem corresponde à área de deposição com um valor de 25% e utilizando o programa DAN-W;
- A maior diferença percentual entre as modelagens realizadas no DAN-W e no DAN3D também se refere à extensão da área de deposição.

iv. Fluxo de detritos Hospital São Lucas

- O evento do Hospital São Lucas começou pela mobilização de vários blocos de rocha que, misturados com solo, desceram pela escarpa rochosa na forma de uma avalanche de detritos até atingir um talvegue no meio da encosta, transformando-se num fluxo de detritos;
- A maior diferença percentual foi encontrada com o programa DAN-W para o volume final com um valor de 37%;
- A maior diferença percentual entre as modelagens 2D e 3D corresponde ao volume final com um valor de 32%.

De maneira geral, para os casos de estudo, é possível concluir que:

- A principal causa do início destes escorregamentos está associada com a diminuição da resistência ao cisalhamento pelo aumento da poropressão, produto da saturação do material da encosta;
- Em todos os casos os fluxos de detritos foram iniciados por escorregamentos de solo ou rocha, que se transformaram em fluxos de detritos, confirmando que estes eventos são comuns em encostas íngremes em processo de intemperismo;
- A maior diferença percentual encontrada entre os programas DAN-W e DAN3D foi para a extensão da área de deposição e para a área de deposição. Porém, a comparação dos resultados obtidos das simulações pelo DAN-W e o DAN3D é consistente e pode ser considerada razoável.

6.2. Recomendações para futuros trabalhos

Indicam-se como sugestões para futuros trabalhos:

- Calibração de outros casos de estudo para aumentar a base de dados de parâmetros reológicos;
- Desenvolvimento de métodos para correlacionar os dados de saída dos programas com as forças de impacto para o dimensionamento de estruturas de mitigação e convivência;
- Monitoramento e registro de eventos considerando os dados de entrada necessários para realizar uma modelagem numérica;
- Análise da susceptibilidade do modelo à taxa de erosão no programa DAN3D;
- Análises comparativas mediante simulações com os programas DAN-W e DAN3D e outros programas disponíveis no mercado como RAMMS ou MADFLOW;
- Análises comparativas das simulações realizadas com equações empíricas encontradas na literatura;
- Desenvolvimento de técnicas para estimar a profundidade de erosão máxima e taxa de erosão baseadas em observações de campo.