

1. Introdução

1.1. Motivação da pesquisa

Movimentos de massa são eventos que representam um alto risco para a vida humana e danificação de estruturas, resultando em importantes perdas econômicas. Os movimentos de tipo fluxo, ou *flow-like landslides*, são os mais destrutivos dentre todos os tipos de movimentos de massa (Hung, 2003). Geralmente, acontecem de forma natural em locais com uma topografia íngreme, além de caracterizar-se por ter uma alta velocidade e uma grande área de impacto, razões pelas quais sua previsão é muito complexa (McDougall, 2006). O início dos movimentos de tipo fluxo está associado com um rápido processo de perda da resistência ao cisalhamento, deflagrado principalmente por eventos extremos de precipitação ou sismos. Alguns exemplos deste tipo de movimentos de massa são os fluxos de detritos, os fluxos de terra e as avalanches.

De acordo com Santi *et al.* (2011) os fluxos de detritos são o tipo de ameaça natural mais comum nas regiões montanhosas, vulcânicas, semi-áridas ou sub-polares. Por exemplo, Li (2004) e Xu *et al.* (2011), reportaram a ocorrência de letais e destrutivos fluxos de detritos na China. Segundo Hewitt (2004), os fluxos de detritos são o tipo de movimento de massa mais frequente e destrutivo na parte alta das montanhas no Paquistão, no Afeganistão e na Índia. De acordo com Selby (1993), os fluxos de detritos são a ameaça natural mais comum nas zonas altas de Nova Zelândia. Nakano (1974) classificou os fluxos como o tipo de movimento de massa mais prejudicial que acontece na zona montanhosa no Japão. Nos EUA, os movimentos de massa, incluindo os fluxos de detritos, provocam entre 25-50 mortes por ano e mais de 2 bilhões de dólares em perdas em infraestrutura (*National Research Council*, 2004). No mundo, em geral, são reportadas em torno de 1.000 mortes por ano devido aos movimentos de massa (Dilley *et al.*, 2005). Além disso, de acordo com Jakob e Hung (2005), os fluxos são o tipo de movimento de massa que gera a maior quantidade de mortes e perdas materiais.

No caso específico da América Latina, a geografia, morfologia, clima e condições geológicas e geotécnicas fazem com que este local seja especialmente vulnerável ante este tipo de ameaças. Além disso, o desenvolvimento não planejado das zonas urbanas, no pé ou nos taludes das encostas, gera uma condição de alto risco ante qualquer tipo de movimento de massa. Segundo Schuster *et al.* (2002), a maior quantidade das mortes associadas a movimentos de massa na América Latina foi ocasionada por fluxos de avalanches, fluxos de detritos ou fluxos de lodos, todos de média-alta velocidade. Dentre os eventos mais notáveis na região pode-se mencionar o acontecido em dezembro de 1999 no povoado de Vargas na Venezuela, onde chuvas de alta intensidade deflagraram uma série de fluxos de detritos que causaram aproximadamente 30.000 mortes e perdas econômicas de 1,79 bilhões de dólares (Wieczorek *et al.*, 2002). Outra grande catástrofe na América do Sul aconteceu no Peru no ano 1970, onde um sismo liberou um grande bloco de gelo no cume do Monte Huascarán, provocando um fluxo de detritos com um volume de aproximadamente 50 milhões de m³, causando a morte de mais de 25.000 pessoas (Nunes e Sayão, 2014).

Os principais desafios no estudo dos fluxos de detritos incluem estimar as zonas de risco, prever a probabilidade de ocorrência de um evento e determinar os parâmetros para projetar estruturas de proteção, como por exemplo: magnitude, velocidade, distância percorrida, força de impacto, entre outros. Porém, pelas características dos fluxos, sua simulação utilizando métodos analíticos ou numéricos é muito complexa, dependente do atrito da base, da reologia da massa deslizada e da topografia do local analisado, entre outros. As suposições padrão de hidrostática, tensões internas isotrópicas e homogeneidade de material não são aplicáveis neste tipo de eventos. Além disso, os materiais envolvidos podem apresentar reologias não newtonianas (Hungar e McDougall (2009). Por isto, ainda não se pode falar de um modelo cem por cento confiável para realizar a predição deste tipo de movimentos massa.

Neste trabalho, foram realizadas as retroanálises de quatro ocorrências de fluxos de detritos, dois localizados na Costa Rica e dois localizados no Brasil. As retroanálises dos casos foram realizadas através de simulações numéricas utilizando os *softwares* DAN-W e DAN3D, desenvolvidos pela Universidade de British Columbia no Canadá. Foram determinados a partir das modelagens os parâmetros que melhor descrevem o comportamento deste tipo de eventos, levando em conta

que estes parâmetros tentam representar tanto as propriedades reológicas e a interação do fluxo e do material da base. Esta pesquisa procura contribuir para ampliar o conhecimento existente sobre os movimentos de massa, além de gerar, em conjunto com outros trabalhos de pesquisa, uma base de dados sólida que possa chegar a ser utilizada no futuro para prever movimentos de massa através de simulações numéricas.

1.2.

Objetivos da pesquisa

1.2.1.

Objetivo geral

Analisar o comportamento de fluxos de detritos deflagrados por precipitações de alta intensidade em regiões tropicais utilizando a modelagem numérica.

1.2.2.

Objetivos específicos

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

1.3.

Organização da pesquisa

O presente trabalho encontra-se organizado em sete capítulos. Neste primeiro capítulo apresenta uma introdução que inclui a importância e os objetivos da pesquisa. No Capítulo 2 é realizada uma revisão das principais bases teóricas relacionadas com movimentos de massa e fluxos de detritos. Inclui-se, a definição e a classificação dos movimentos de massa, ampliando o item referente às características dos fluxos de detritos. Igualmente são apresentados os mecanismos deflagradores e os principais parâmetros utilizados para sua caracterização. Também

foi apresentada uma introdução aos principais conceitos relacionados com a análise de risco. Finalmente, se mostra a revisão das principais medidas de mitigação e convivência deste tipo de movimentos.

No Capítulo 3 são apresentados os principais conceitos para a modelagem numérica de fluxos e avalanches de detritos, que inclui uma lista dos programas computacionais disponíveis no mercado, uma revisão da abordagem teórica dos programas escolhidos e, finalmente, a descrição geral dos dados de entrada e saída dos programas utilizados. A metodologia utilizada para a calibração preliminar dos parâmetros, a construção do modelo e a seleção final dos parâmetros para as modelagens é apresentada no Capítulo 4.

O detalhe dos quatro casos de estudo é apresentado no Capítulo 5, onde se inclui a localização, a geologia, a geomorfologia, a descrição e a caracterização de cada evento. No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos das análises numéricas e sua interpretação segundo a metodologia descrita no Capítulo 4. Além disso, é apresentada a comparação dos resultados obtidos das análises numéricas com os valores dos eventos medidos no campo.

Finalmente, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões e recomendações para pesquisas futuras.