



## UMA REVISÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS (*SOFTWARES*) PARA SIMULAÇÃO DE FLUXO DE DETRITOS

Luiz Augusto Richit<sup>1</sup> & Masato Kobiyama<sup>2\*</sup> & Roberto Valmir da Silva<sup>3</sup>

**Resumo** O fluxo de detrito caracteriza-se pelo movimento rápido de transporte de sedimentos, sendo responsável por causar elevados prejuízos humanos, econômicos e alterações ambientais devido a seu rápido desenvolvimento e seu alto potencial destrutivo. Uma das ações importantes para estabelecer as medidas preventivas contra esse fenômeno é o uso de ferramentas computacionais (*softwares*) que possam estimar de forma preliminar a extensão da área afetada, a velocidade de alcance dos detritos, etc. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi buscar na literatura um conjunto de *softwares* que simulam o fluxo de detritos e classificá-los em diferentes critérios. Os *softwares* analisados são: DFLOWZ, FLO-2D, FLOW-R, KANAKO2D, Hyper-KANAKO, MassMov2D, r.avaflow v1, RAMMS, RASH3D, TRENT2D, e UBCDFLOW. A classificação e descrição dos mesmos podem ser úteis para os gestores escolherem o melhor modelo a fim de seu objetivo e sua condição de trabalho.

**Palavras-Chave** Fluxo de Detritos, *software*, classificação.

### A REVIEW ON COMPUTATIONAL MODELS (*SOFTWARE*) TO DEBRIS FLOW SIMULATION

**Abstract** The debris flow is characterized with the rapid movement of sediment transport and is responsible for causing large human, economic and environmental damages due to its rapid development and high destructive potential. One of the important actions to establish preventive measures against this phenomenon is the use of computational tools (*softwares*) that can estimate in a preliminary way the extent of the affected area, the speed of reach of the debris, etc. Therefore, the objective of the present work was to search in the literature a set of *softwares* that simulate the debris flow and to classify them in different criteria. The analyzed *softwares* are: DFLOWZ, FLO-2D, FLOW-R, KANAKO2D, Hyper-KANAKO, MassMov2D, r.avaflow v1, RAMMS, RASH3D, TRENT2D, and UBCDFLOW. The classification and description of them can be useful for managers to choose the best model for their purpose and their working condition.

**Keywords** Debris Flow, *software*, classification.

### INTRODUÇÃO

Com base na classificação de desastres naturais do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) (Scheuren *et al.*, 2008), os desastres hidrológicos consistem-se de inundações e movimentos de massa úmida. Aqui, nota-se que todos os desastres são eminentemente sociais. Entretanto, convencionalmente, o presente trabalho chama o desastre relacionado com fenômenos naturais como o desastre natural. Quando esses movimentos ocorrem com terremoto ou explosão de vulcão, são chamados movimento de massa seca e fazem parte dos desastres geofísicos nessa classificação. Usualmente os movimentos quaisquer de massa, independente de estar seca ou úmida, podem ser classificados em diferentes tipos tais como rastejamento, escorregamento translacional, escorregamento rotacional, fluxo de detritos, queda de bloco, entre outros. Segundo Jacob e Hungr

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Erechim. luizaugustorichit@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). masato.kobiyama@ufrgs.br.

\* Autor Correspondente

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Erechim. roberto.silva@uffs.com.br.

(2005), os fluxos de detritos vêm causando desastres naturais no mundo intensivamente. Os desastres associados aos fluxos de detritos podem ser comuns e cada vez mais intensos no Brasil também (Kobiyama *et al.*, 2016).

Takahashi (2007) definiu o fluxo de detritos como um fluxo composto por uma mistura de sedimento e água que flui continuamente por ação da gravidade, e comentou que tal fenômeno tem enorme mobilidade. Segundo Gostner *et al.* (2008), a concentração de sólidos no fluxo de detritos é expressivamente elevada, e O'Brien (2007) descreveu que esse valor chega até 40-50%.

Para redução de desastres envolvendo fluxo de detritos, as medidas estruturais e não estruturais devem ser tomadas. Ambas as medidas podem ser tecnicamente e cientificamente apoiadas pelas modelagens. Barragán *et al.* (2015) classificaram os modelos matemáticos dos fluxos de detritos em dois tipos: (i) empíricos e (ii) fisicamente embasados, e sintetizaram as principais abordagens existentes para modelagem empírica de fluxos de detritos. Os conhecimentos sobre modelagem e modelos facilitam os gestores de desastres naturais no momento de escolher qual modelo será aplicado a uma ação ou medida. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi classificar vários modelos computacionais a fim de subsidiar a escolha pelos gestores para seu uso.

Como existem muitos modelos, o presente trabalho focou-se apenas na busca de softwares disponíveis por acesso a internet. Por exemplo, Takahashi (1991) e Iverson (1997) apresentaram seus próprios modelos para simular o fluxo de detritos, sendo utilizados por diversos outros pesquisadores. Entretanto, compreender esses modelos e implementá-los computacionalmente é extremamente oneroso e consome muito tempo. Desse modo, por exemplo, este tipo de modelo descrito na literatura não foi contemplado no presente trabalho. Por outro lado, normalmente, cada software possui seu manual ou material para seu uso, o que facilita os gestores iniciarem utilização desses softwares. Coulthard (2001) apresentou uma revisão de 5 *softwares* que simula a evolução de paisagem e auxiliou os leitores a compreenderem melhor o uso daqueles modelos bem como dar suporte a escolha. Similar a esse trabalho, o presente trabalho pretende auxiliar os gestores na escolha de um modelo para trabalhar com fluxo de detritos.

## INVENTÁRIOS DOS MODELOS (*SOFTWARES*)

Na literatura nota-se que os pesquisadores normalmente utilizam muitas teorias e modelos matemáticos para descrever um fenômeno extremamente complexo como fluxo de detritos e criam um nome próprio para o software nesses modelos baseado. Muitas vezes, o nome do software não faz qualquer referência as teorias em que está embasado. O presente trabalho, por meio de consulta à internet, investigou artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais e também livros e capítulos dos livros que propuseram modelos computacionais (*softwares*) e/ou descrevem os seu uso.

Com base nas publicações e citações de softwares, o presente trabalho escolheu os onze seguintes softwares: DFLOWZ (Berti e Simoni, 2014); FLO-2D (O'Brien *et al.*, 1993); FLOW-R (Horton *et al.*, 2013); KANAKO2D (Nakatani *et al.*, 2008); Hyper-KANAKO (Nakatani *et al.*, 2012); MassMov2D (Beguería *et al.*, 2009); r.avaflow v1 (Mergili *et al.*, 2017); RAMMS (Christen *et al.*, 2012); RASH3D (Pirruli e Sorbino, 2008); TRENT2D (Armanini *et al.*, 2009; ); e UBCDFLOW (Fannin e Bowman, 2007).

Os modelos podem ser divididos ou agrupados de acordo com diferentes critérios, porém para isso é necessário que preliminarmente sejam apresentados os aspectos mais relevantes sobre cada um dos modelos citados na seção precedente.

Por exemplo, alguns modelos apresentam mais vantagens em relação aos outros em relação ao número total de funcionalidades como é o caso do RAMMS que conta com três possibilidades de simulação de movimentos de massa (avalanches, fluxo de detrito, e quedas de rochas) (Christen *et*

*al.*, 2010). No módulo para simulação de fluxo de detritos, o RAMMS: DEBRIS FLOW considera o modelo de Voellmy para o atrito do fluxo e baseia-se no modelo de fricção de Coulomb e no atrito turbulento dependente do quadrado da velocidade.

O modelo KANAKO-2D foi desenvolvido por Nakatani *et al.* (2008) e posteriormente adaptado para ser criado o modelo Hyper-KAKAKO na base do SIG por Nakatani *et al.* (2012). Sua versão inicial apresentava a possibilidade de simulação unidimensional de fluxo de detritos e o efeito de barragens de contenção de sedimentos. As equações de quantidade de movimento e conservação de massa, bem como as equações de erosão e deposição são baseadas no trabalho de Takahashi e Nakagawa (1991). No KANAKO-2D, os resultados são gerados na forma matricial que devem ser carregados manualmente para softwares de geoprocessamento como ArcGis e GrassGis. O Hyper-KANAKO, em contrapartida, trabalha automaticamente gerando estes resultados.

O modelo MassMov2D foi desenvolvido por Beguería *et al.* (2009) e está suportado na consideração de fluido homogêneo com reologia de propriedades constantes. A aproximação do fluido foi baseada na teoria de Savage-Hutter e no modelo reológico nas leis de Bingham e Coulomb. O fluxo é modelado através de aproximações das equações dinâmicas em meio contínuo. A resolução numérica das equações é realizada através de diferenças finitas discretizadas em malhas regulares.

TRENT2D (Armanini *et al.*, 2009) é um modelo numérico de duas fases em que as equações bidimensionais de movimento para cálculo da velocidade em profundidade média são resolvidas numericamente através de esquema de volume finito para resolução numérica. Neste mesmo trabalho o modelo foi testado em dois fluxos, ocorridos nos Alpes Italianos, para sua validação. A versão atual do modelo, com alguns aprimoramentos passou a se chamar TRENT2D WG e consiste de uma solução integrada disponível como WebGIS Terra3 (Zorzi *et al.*, 2016).

FLO2D é um modelo computacional para simulação 2D de fluxo de detritos baseado fisicamente e leva em conta o momento e a conservação de energia do fluxo de matéria (O'Brien *et al.*, 1993; O'Brien, 2007). Este modelo Computacional é relatado como empregado em inúmeros trabalhos e utilizado em inúmeros países, possuindo como vantagens a possibilidade de simular o fluxo de detritos sobre terrenos complexos, fluxo de sedimentos hiperconcentrados, incluindo fluxos de lama e fluxos de transição entre água e lama até fluxo de detritos (Hsu *et al.*, 2010). Além disso, o modelo conta com a equação completa de dinâmica de onda para prever adequadamente o histograma de inundação (Hsu *et al.*, 2010) e adota um modelo reológico de tensão de cisalhamento quadrática que pode descrever o fluxo turbulento e dispersivo (O'Brien *et al.*, 1993)

Entre os modelos apresentados neste trabalho o único que descreve o fluxo tridimensionalmente é o modelo RASH3D proposto por Pirulli e Sorbino (2008). Inicialmente o modelo estava baseado na reologia friccional o que gerava uma super-estimativa dos valores de velocidade, de forma que posteriormente verificou-se que o modelo reológico de Voellmy representava de forma mais consistente o fenômeno de fluxo de detritos. O modelo RASH3D foi desenvolvido a partir do aprimoramento de um modelo numérico pré-existent, com a redução da dependência do formato da malha e baseadas em leis constitutivas diferenciadas, pois, na sua formulação de acordo com a reologia de Voellmy, o fluxo passa a ser dependente de um termo de perda de carga devido à velocidade (termo turbulento) e um termo de atrito de Coulomb (Pirulli e Sorbino, 2008).

DFLOWZ é um programa livre igualmente empregado para simulação de fluxo de detritos, que se estende de um modelo estatístico empírico baseado em relações semi-empíricas para volume e áreas afetadas (Berti e Simoni, 2014). Neste modelo o transporte de matéria é simulado sobre a topografia através das relações empíricas, porém apesar de sua simplicidade é retratado como limitado, pois a resolução topográfica desse ser suficientemente elevada para representar o canal

topográfico de transporte, porque a área transversal do canal aparece como um ponto sensível deste modelo (Berti e Simoni, 2014).

Sendo similar ao modelo DFLOWZ, o modelo UBCDFLOW é um modelo empírico onde o movimento de fluxo de detritos e o deslocamento total são estimados a partir da viagem do volume de matéria assumido (Fannin e Wise, 2001) disponibilizado de forma online em website do grupo de engenheiros civis da Universidade de British Columbia. Através de equações de regressão obtidas por análise em campo, as variações de arrastamento e deposição são balanceadas de forma que o volume de material desprendido chegue à condição final de espalhamento (Fannin e Bowman, 2008; Fannin *et al.*, 2015).

O modelo FLOW-R proposto por Horton *et al.* (2013) também é de caráter empírico. Ele é capaz de descrever tanto fluxo de detritos, como avalanches de neve, quedas de rochas e inundações. Ele já foi aplicado, por exemplo, Von Fischer (2016) fez um estudo comparativo de fluxo de detritos na Suíça entre RAMMS e FLOW-R, e Park *et al.* (2013) simularam desastres gravitacionais através de cenários de suscetibilidade em função da variação de parâmetros do modelo, em Seul, Coreia do Sul. O modelo necessita como entrada modelos digitais de terreno, e segue dois passos: o primeiro é a identificação das áreas fonte a partir de critérios morfológicos e definidos pelo usuário; e o segundo refere-se à propagação do fluxo destas áreas com base em algoritmos de direção (cujo algoritmo implementado apresenta diferentes métodos aplicados) e leis de fricção (Horton *et al.*, 2013).

O modelo r.avaflow v1 recentemente proposto por Mergili *et al.* (2017) leva em consideração a simulação de duas fases (sólida e líquida). O modelo é apresentado como módulo desenvolvido em linguagem C e Python adaptado para funcionar associado com o software GRASS GIS disponível a partir de sua versão 7.0.

## DISCUSSÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS

Na seção anterior foi apresentada uma visão geral sobre cada um dos modelos que foram selecionados. Nesta seção apresenta-se uma discussão levando em conta diferentes critérios que podem servir para classificação dos modelos além de servir de base para escolha do modelo segundo critério de interesse. A Tabela 1 apresenta um conjunto de critérios empregados para caracterizar cada um dos modelos empregados.

A maioria dos modelos trabalha com simulação bidimensional de fluxo de detritos, dentre os apresentados exceto RASH3D, visto que um modelo 3D, ainda que permita maior acurácia também possui maior restrição devido ao uso de memória e tempo de simulação. Outra característica é o número de fases que cada modelo trabalha, excetuando-se o modelo proposto por Mergili *et al.* (2017) e Armanini *et al.* (2009) todos os demais trabalham com uma fase mista.

Alguns modelos são pagos, livres, fechados ou abertos, enquanto, há também aqueles que foram desenvolvidos para análise e publicados como trabalhos, porém que não estão disponíveis. No caso do MassMov2D, Molinari *et al.* (2014) o melhoraram, reimplementando-o para a criação do modelo aberto e livre em GRASS GIS.

Cada modelo foi desenvolvido em linguagem específica de acordo com o software de processamento das rotinas empregadas ou a interface empregada para operar associada à exibição de resultados gráficos. Cada linguagem possui suas particularidades de acordo com a capacidade de armazenamento, custo de memória, esforço computacional, potencial numérico.

Os modelos podem ser discutidos em função dos métodos empregados que estão na Tabela 1, isto é, métodos Langrageano, Euleriano, misto e aqueles modelos que empregam métodos empíricos. De qualquer forma, cada modelo pode contar com diferentes métodos de discretização e tratamento numérico. Métodos de volumes finitos, elementos finitos, diferenças finitas para as

equações de transporte e movimento são comumente empregados com diferentes esquemas para garantir estabilidade e acurácia de acordo com as particularidades das equações que governam a descrição do fenômeno e na qual está baseada cada modelo.

Tabela 1 ó Classificação dos *softwares* para Fluxo de Detritos.

Nome	Autores	Dimensão	<i>Software</i> /Código	Método	Nº de fases	Linguagem
DFLOWZ	Berti e Simoni (2014)	2D	Pago/Aberto	Empírico	1	Matlab
FLO2D	O'Brien <i>et al.</i> (1993)	2D	Pago/Fechado	Euleriano	1	*
FLOW-R	Horton <i>et al.</i> (2013)	2D	Pago/Aberto	Empírico	1	Matlab
Hyper KANAKO	Nakatani <i>et al.</i> (2012)	1-2D	Pago/Fechado	Langrageano	1	C++
KANAKO2D	Nakatani <i>et al.</i> (2008)	1-2D	Livre/Fechado	Langrageano	1	VB.NET
MassMov2D	Beguería <i>et al.</i> (2009)	2D	Livre/Aberto	Euleriano	1	PC/Raster
r.avafLOW v1	Mergili <i>et al.</i> (2017)	2D	Livre/Aberto	Mixed	2	C/Python
RAMMS	Christen <i>et al.</i> (2010)	2D	Pago/Fechado	Euleriano	1	*
RASH3D	Pirulli e Sorbino (2008)	3D	Particular/Fechado	Langrageano/ Euleriano	1	*
TRENT2D (WG)	Armanini <i>et al.</i> (2009)	2D	Livre/Aberto	Euleriano	2	PHP/ JavaScript
UBCDFLOW	Fannin e Bowman (2007)	2D	Online (livre)/Aberto	Empírico-Estatístico	1	JavaScript

Obs.: \* indica que não foi possível verificar a informação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos computacionais são uma ferramenta muito útil para predição de fenômenos diversos. As vantagens que estão associadas a cada modelo, as limitações, e até mesmo as recomendações estão obviamente associadas às limitações na formulação e descrição dada do fenômeno através das equações e leis empregadas, porém também podem variar de acordo com os esquemas numéricos, a representatividade dos dados de entrada e a validade dos parâmetros informados.

O presente trabalho não radica a questão de análise dos softwares, mas apenas apresenta um conjunto de softwares e uma caracterização limitada, de forma a permitir ao leitor uma visão geral e também um compêndio de softwares aplicados para fluxo de detritos. Portanto, os critérios apresentados na Tabela 1 são úteis para uma visão geral. Com base nisso, os leitores interessados poderão escolher um modelo computacional apropriado. Essa escolha pode estar baseada na capacidade de processamento, na qualidade dos resultados gerados, na disponibilidade do modelo (livre ou pago) e também no interesse do usuário ou pesquisador que deseje acessar os códigos e até modificá-los.

Recentemente, os desastres naturais associados ao rompimento de barragens vêm chamando atenção aos pesquisadores. Entre eles, Ackerman e Brunner (2006), Razack (2014), Pereira *et al.* (2017) entre outros tentaram estudar esse fenômenos com aplicação de HEC-RAS. Os desempenhos obtidos por tais trabalhos demonstram que esse modelo pode ser útil. Entretanto, o

comportamento do fluxo no caso de rompimento pode ser mais similar àquele do fluxo de detritos. Então, modelos que simulam fluxos de detritos deveriam ser aplicados para esse estudo. Assim, Yanagisaki *et al.* (2016) estudaram o rompimento de barragem gerada pelo escorregamento natural por meio do uso de Hyper-Kanako e tiveram bom resultado da aplicação. Portanto, pode-se dizer que os modelos computacionais de fluxo de detritos tenham mais contribuição a diversos setores.

## REFERÊNCIAS

ACKERMAN, C.T.; BRUNNER, G.W. (2006). Dam failure analysis using HEC-RAS and HECGeoRAS. In: *Proceedings of Third Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, Reno, NV. 8p.

ARMANINI, A.; FRACCAROLLO, L.; ROSATTI, G. (2009) Two-dimensional simulation of debris flows in erodible channels. *Computers & Geosciences*, 35(5), pp. 993-1006.

BARRAGAN, M.L.M.; MICHEL, G.P.; KOBAYAMA, M.; ZAMBRANO, F.C.; BAUMBACH, M.F.; VASCONCELLOS, S.M. Abordagens empíricas utilizadas na modelagem de fluxos de detritos. In: *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável*. Porto Alegre: ABRH, 2015. 8p.

BEGUERÍA, S.; VAN ASCH, Th.W.J.; MALET, J.-P.; GRONDAHL, S. (2009). A GIS-based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, pp. 1897-1909.

BERTI, M.; SIMONI, A. (2014). DFLOWZ: A free program to evaluate the area potentially inundated by a debris flow. *Computers & Geosciences*, 67, pp. 14-23.

CHRISTEN, M.; KOWALSKI, J.; BARTELT, P. (2010) RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 63(1), pp. 1-14.

COULTHARD, T.J. Landscape evolution models: a software review. *Hydrological Processes*, 15, pp. 165-173

FANNIN, J.; BOWMAN, E. T. (2008). Debris flows-entrainment, deposition and travel distance. *Geotech News*, 25(4), pp. 3-6

FANNIN, R. J.; WISE, M. P. (2001). An empirical-statistical model for debris flow travel distance. *Canadian Geotechnical Journal*, 38(5), pp. 982-994.

FANNIN, R.J.; MICKOVSKI, S.B.; STOKES, A.; ELIADORANI, A.A.; McCONNELL, R. (2015). Debris flow behaviour and travel distance: Col du Sabot, France. *Journal of Environmental Geotechnics*. DOI: 10.1680/envgeo.14.00042

GOSTNER, W.; BEZZOLA, G.R.; SCHATZMANN, M.; MINOR, H-E. (2008) Water-related natural disasters: Strategies to deal with debris flows: The case of Tschengls, Italy. In: WIEGANDT, E. (ed.) *Mountains: Sources of Water, Sources of Knowledge*. Springer Netherlands. pp. 221-241.

- HORTON, P.; JABOYEDOFF, M.; RUDAZ, B.; ZIMMERMANN, M. (2013). Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4), pp. 869-885.
- HSU, S.M.; CHIOU, L.B.; LIN, G.F.; CHAO, C.H.; WEN, H.Y.; KU, C.Y. (2010) Applications of simulation technique on debris-flow hazard zone delineation: a case study in Hualien County, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, pp. 5356545.
- IVERSON, R. M. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of geophysics*, 35(3), pp. 245-296.
- JAKOB, M.; HUNGR, O. (eds.) (2005) *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer-Verlag, 739p.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P.; GOERL, R.F. (2016). Historical views and current perspective of debris flow disaster management in Brazil. In: AVERSA, S.; CASCINI, L.; PICARELLI, L.; SCAVIA, C. (eds.) *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*, CRCPress/ Balkem. pp. 1189-1194.
- MERGILI, M.; FISCHER, J.-T.; KRENN, J.; PUDASAINI, S.P. (2017). r.avaflow v1, an advanced open-source computational framework for the propagation and interaction of two-phase mass flows. *Geoscientific Model Development*, 10(2), pp. 5536569.
- MOLINARI, M. E.; CANNATA, M.; MEISINA, C. (2014). r.massmov: an open-source landslide model for dynamic early warning systems. *Natural hazards*, 70(2), pp. 1153-1179.
- NAKATANI, K.; WADA, T.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. (2008). Development of ðKanako 2D (Ver. 2.00), ð a user-friendly one-and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1(2), pp. 62-72.
- NAKATANI, K.; IWANAMI, E.; HORIUCHI, S.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. (2012). Development of ðHyper KANAKOö, a debris flow simulation system based on Laser Profiler data. In: *Proceedings of 12th Congress INTERPRAEVENT (2012 Grenoble)*, pp. 269-280.
- O'BRIEN, J.S.; JULIEN, P.Y.; FULLERTON, W.T. (1993). Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(2), pp. 244-259.
- O'BRIEN, J. S. (2007). *FLO-2D Userø Manual, Version 2007*. Nutrioso: FLO Engineering.
- PARK, D.; LEE, S.; NIKHIL, N.; KANG, S.; PARK, J. (2013). Debris flow hazard zonation by probabilistic analysis. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(6), pp. 2381-2390.
- PEREIRA, C.E.; VISEU, M.T.; MELO, J.F.; MARTINS, T.; SALLA, M.R.; MOTA, K.R.R. (2017). Comparação entre modelos simplificados e o modelo HEC-RAS no estudo de áreas de inundação para o caso de Minas Gerais, Brasil. *Recursos Hídricos*, 38(1), pp. 75-90.
- PIRULLI, M.; SORBINO, G. (2008). Assessing potential debris flow runout: a comparison of two simulation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, pp. 9616971,

RAZACK, R. (2014). Dam break analysis using GIS applications. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(3), pp. 1157-1161.

SCHEUREN, J-M.; WAROUX, O.P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. (2008) *Annual Disaster Statistical Review: the Numbers and Trends 2007*. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 47p.

TAKAHASHI, T. (1991). *Debris Flow*. Rotterdam: Balkema, 165p.

TAKAHASHI, T. (2014). *Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures*. CRC press. 448p.

TAKAHASHI, T.; NAKAGAWA, H. (1991) Prediction of Stony Debris Flow Induced by Severe Rainfall. *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, 44(3), pp.12-19.

VON FISCHER, F.; KEILER, M.; ZIMMERMANN, M. (2016). Modelling of individual debris flows using Flow-R: A case study in four Swiss torrents. In: *Proceedings of 13th Congress INTERPRAEVENT (2014 Lucerne)*, pp. 257-264.

YANAGISAKI, G.; AONO, M.; TAKENAKA, H.; TAMAMURA, M.; NAKATANI, K.; IWANAMI, E.; HORIUCHI, S.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. (2016). Debris flow simulation by applying the Hyper KANAKO system for water and sediment runoff from overtopping erosion of a landslide dam. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 9(2), pp. 43-57.

ZORZI, N.; ROSATTI, G.; ZUGLIANI, D.; RIZZI, A.; PIFFER, S. (2016). Equipping the TRENT2D model with a WebGIS infrastructure: A smart tool for hazard management in mountain regions. In: *Proceedings of the 4th IAHR Europe Congress (Liege, 2016)*, pp. 819-826.