



HISTÓRICO DE OCORRÊNCIA DE FLUXOS DE DESTRITOS E SEUS ESTUDOS NO BRASIL

Masato Kobiyama¹ & Gean Paulo Michel²

RESUMO --- Considerando o fluxo de detritos como um fluxo altamente destrutivo composto por uma mistura de sedimento e água, o presente trabalho realizou um levantamento de estudos técnico-científicos disponíveis na internet que abordaram fluxos de detritos ocorridos no Brasil no período de 1900-2013. Embora exista um aumento na ocorrência destes fenômenos a partir da década de 90, que resultou no aumento do número de publicações, este número ainda é pequeno, especialmente em revistas científicas. A análise histórica dos estudos no Brasil demonstra a situação atual no país e traz diversas ações que deveriam ser implementadas urgentemente. Dentre elas, destacam-se (1) estabelecimento de conceito e terminologia; (2) sistematização de monitoramento hidrometeorológico e levantamento topográfico; (3) registros de ocorrências e construção de banco de dados; e (4) pesquisas sobre fluxo de detritos lenhosos.

ABSTRACT --- Considering the debris flow as highly-destructive flow of mixture of sediment and water in a way where it is a gravity-governed continuous flow, the present work conducted a Web survey of technical-scientific studies that treated these phenomenons which occurred in Brazil during the period 1900-2013. Although the increase of occurrence from the 90's decade caused the increase in the number of publication, there is still a small number of publications, especially in scientific journals. A historical analysis about Brazilian studies demonstrates an actual situation in Brazil and lets us know various necessary and urgent actions. Among them, the more important actions are: (1) establishment of terminology and concept about debris flow in Brazil; (2) systematization of hydrometeorological monitoring and topographic survey; (3) occurrence registration and data-base construction; and (4) woody debris flows researches.

Palavras-chave: fluxo de detritos, estudos científicos, histórico.

¹ Professor Dr. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Porto Alegre (RS). Email: masato.kobiyama@ufrgs.br

² Doutorando. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Porto Alegre (RS). Email: geanpmichel@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os fluxos de detritos (*debris flows*) cada vez mais vêm causando graves prejuízos à sociedade e ao meio ambiente tanto no Brasil quanto no mundo. Isto implica na importância de se desenvolver um maior número de pesquisas para compreender os mecanismos de tais fenômenos naturais e as medidas necessárias para reduzir os desastres relacionados aos mesmos. Nestas circunstâncias, a *International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment* foi realizada em San Francisco (EUA) em 1997, Taipei (Taiwan) em 2000, Davos (Suíça) em 2003, Chengdu (China) em 2007, e Pádova (Itália) em 2011. Sua sexta edição será em Tsukuba (Japão) em 2015. Um evento similar chamado *International Conference on Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flow* foi realizado quatro vezes: em Rhodes (Grécia) em 2006, New Forest (Inglaterra) em 2008, Milano (Itália) em 2010 e Dubrovnik (Croácia) em 2012.

Antigamente, cientistas que se dedicavam ao estudo dos fluxos de detritos não tinham nenhuma oportunidade de ver este fenômeno ao vivo. Então, as informações eram extraídas de depoimentos de um número reduzido de testemunhas e de observações da área de deposição do fluxo de detritos após sua ocorrência. Então, de fato, os cientistas podiam apenas imaginar como o fluxo se desenvolvia. Okuda *et al.* (1977) mostraram pela primeira vez ao mundo uma filmagem de um fluxo de detritos, o que significativamente facilitou o entendimento dos mecanismos do mesmo. Neste sentido, a contribuição do trabalho de Okuda e seu grupo foi bastante significativa.

Uma obra intitulada "Debris flows" de Takahashi (1991), publicada na série de monografias da *International Association of Hydraulic Engineering and Research* (IAHR), foi o primeiro livro escrito no mundo que exclusivamente abordava esse fenômeno sistematicamente e representou um grande estímulo para a comunidade científica. Hoje existem diversos livros que tratam exclusivamente deste fenômeno (por exemplo, Armanini & Michiue, 1997; Jacob & Hungr, 2005; Takahashi, 2007), além de artigos em forma de revisão (Innes, 1983; Davies *et al.*, 1992; Hutter *et al.*, 1996; Coussot & Meunier, 1996; Iverson, 1997; Iverson *et al.*, 1997; Hungr *et al.*, 2001; Vandine & Bovis, 2002; Takahashi, 2009).

Analisando os desastres relacionados a escorregamentos, Petley (2012) e Sepúlveda & Petley (submetido) demonstraram uma tendência onde países que possuem elevado número de publicações de artigos científicos sobre escorregamentos sofrem menos com estes desastres. Isso indica que a sociedade brasileira também precisa avançar mais em seus estudos relacionados a fluxos de detritos a fim de reduzir os desastres gerados pelos mesmos.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar o conceito de fluxo de detritos e realizar uma investigação histórica e quantitativa sobre trabalhos técnico-científicos que abordaram tal fenômeno no Brasil. Segundo Alexander (1989), o fluxo de detritos é o tipo mais destrutivo dentre os movimentos de massa, responsável por causar o maior número de mortes na área urbana. Esta constatação provavelmente ainda hoje é verdadeira no Brasil e também no mundo.

TERMINOLOGIA E CONCEITOS

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 Iverson (2004), o fluxo de detritos é um fenômeno transicional de movimento de massa cujas características alternam-se entre escorregamento e inundação. Coussot & Meunier (1996) consideraram que o fluxo de detritos é um fenômeno intermediário entre fluxo hiperconcentrado e escorregamento. Justamente por seu caráter transicional ou intermediário, existem diversas definições, e conseqüentemente imprecisões.

Devido à natureza de fluxo e de transição, diversos trabalhos procuraram estabelecer diferenças entre fluxos de detritos e outros similares, por exemplo, Costa (1988) tentou diferenciar fluxos de detritos, fluxos hiperconcentrados e inundações. Imaizumi *et al.* (2008) diferenciou fluxos de detritos de escorregamentos. De quaisquer formas, existem diversas tentativas de estabelecer conceitos relacionados a este fenômeno. A Tabela 1 mostra alguns exemplos.

O fluxo de detritos é muito comum na região montanhosa. No Japão, “doseki-ryu” que significa fluxo de solo-rocha e “yama-tsunami” que significa tsunami de montanha são termos que correspondem a “debris flow”. No Brasil, os termos que correspondem a “debris flow” são diversos, constituídos por uma combinação de termos que substituem a palavra fluxo (corrida/movimento/torrente) e a palavra detritos (escombros/massas), ou seja, fluxo de detritos, fluxo de escombros, corrida de detritos, corrida de escombros, corrida de massa, entre outros.

Conforme o dicionário HOUAISS, “escombros” são entulhos ou destroços, e “detritos” são resíduos de alguma substância, sendo que na geologia, são “sedimentos ou fragmentos desagregados de uma rocha, que irão constituir os depósitos sedimentares”. Embora o dicionário MICHAELIS traduza “debris” como escombros, entulhos e fragmentos, o presente trabalho usa o termo técnico “fluxo de detritos” como a tradução mais adequada para “debris flow”.

De fato, é necessário discutir as características do material que flui, isto é, “debris”, traduzido no presente trabalho como detritos. Hungr *et al.* (2001) definiram os detritos como materiais soltos

e não uniformizados de baixa plasticidade. Texturalmente, os detritos são uma mistura de areias, seixos, matacões, e siltes. Muitas vezes, os detritos podem conter materiais orgânicos como troncos, galhos, entre outros. Para Cruden & Varnes (1996), há dois tipos de materiais que constituem os fluxos: detritos (*debris*) e terras (*earth*). Os detritos são solos que contém seixos e outras partículas de tamanhos grosseiros em uma proporção maior que 20%, enquanto as terras seriam compostas por esta proporção menor que 20%.

Tabela 1 – Diferentes conceitos elaborados para definir os fluxos de detritos.

Autores	Conceitos
Varnes (1978)	O fluxo é o movimento rápido de material viscoso. Existe o fluxo de detritos, fluxo de lama e avalanche de rochas, dependendo da natureza do material envolvido no movimento.
Costa (1988)	O fluxo de detritos é fluido não newtoniano viscoplástico ou dilatante fluindo de maneira laminar e com perfil de concentração de sedimento uniforme. A concentração de sedimento varia de 70 a 90% do peso total (47 a 77% do volume). A tensão cisalhante é maior que 400 dinas/cm ² .
Jan & Shen (1997)	O fluxo de detritos é um fluxo gravitacional de material composto por uma mistura de solo, rocha, água e/ou ar, oriundo de escorregamento com elevada quantidade de escoamento superficial. Suas propriedades variam de acordo com a quantidade de água e argila, tamanho do sedimento e distribuição granulométrica.
USGS (1997)	Os fluxos de detritos são escorregamentos de movimento rápido, os quais ocorrem nos mais diversos locais do mundo. Eles são particularmente perigosos à vida e à propriedade, pois se movimentam abruptamente e destroem objetos no seu caminho, além de frequentemente ocorrerem sem alerta.
Vandine & Bovis, (2002)	O fluxo de detritos é um tipo de movimento de massa, o qual envolve o movimento rápido dos materiais orgânico e inorgânico (predominantemente materiais grosseiros), saturados pela água em canal confinado e declivoso.
Imaizumi <i>et al.</i> (2008)	Os movimentos de massa são divididos em dois tipos: de encostas e de canais. Os movimentos de encostas e de canais são considerados escorregamentos e fluxos de detritos, respectivamente.
IRDR (2014)	O fluxo de detritos é um tipo de escorregamento que ocorre quando uma chuva intensa provoca a descida de uma grande quantidade de detritos (troncos, rochas, lamas, etc.) em encostas por ação da força gravitacional.
Hungr <i>et al.</i> (2014)	O fluxo de detritos é um fenômeno muito perigoso nas regiões montanhosas. Este fenômeno se difere dos outros tipos de escorregamento por ocorrer periodicamente em trajetos estabelecidos, normalmente voçorocas, e canais de primeira ou segunda ordem.

Como o fluxo de detritos é um fenômeno causador de desastres, ele pode ser tratado do ponto de vista de desastres naturais e de defesa civil. Em 2008, o *Emergency Disaster Data Base* (EM-DAT) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), órgão parceiro da

Organização Mundial da Saúde, reclassificou os tipos de desastres em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos (Scheuren *et al.*, 2008). Os naturais foram divididos em seis sub-grupos: biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e extraterrenos (meteoritos), e estes, por sua vez, em outros doze subtipos. Esta nova classificação resultou de uma iniciativa entre os dois principais bancos de dados de desastres, o CRED e a *Munich Reinsurance Company* (MunichRe), os quais decidiram adotar uma classificação em comum para os seus respectivos bancos de dados (Below *et al.*, 2009).

A principal mudança foi a separação dos movimentos de massa em dois tipos: seco e úmido. O primeiro está associado apenas aos eventos geofísicos (terremotos) e o segundo aos condicionantes hidrológicos (lençol freático). Independente da origem, tais movimentos de massa são comumente chamados de escorregamentos. A *UN-International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR) também adotou a nova classificação, visto que o EM-DAT é o principal banco de dados utilizado pela ONU, como observado em UNDP (2004). Além disso, uma atualização posterior da classificação utilizada CRED foi realizada, na qual não se encontra mais os desastres extraterrenos (Guha-Sapir *et al.*, 2012). Assim sendo, a Tabela 2 mostra sucintamente o resumo das classificações antiga e atual dos desastres naturais estabelecidas pelo CRED e ONU. Nesta classificação, o fluxo de detritos faz parte dos movimentos de massa úmida. Isto significa que o fluxo de detritos é considerado um tipo de desastre hidrológico pela ONU.

Tabela 2 – Classificações antiga e atual dos desastres naturais no CRED - ONU

Classificação antiga	Classificação atual	Principais tipos
Geológico	Geofísico	Terremotos, vulcões, movimentos de massa (seca)
	Meteorológico	Tempestades
Hidrometeorológico	Hidrológico	Inundações, movimentos de massa (úmida)
	Climatológico	Temperaturas extremas, secas, incêndios
Biológico	Biológico	Epidemias, pragas, infestações de insetos

Recentemente, Brasil (2012) lançou a Lei 12.608/12 que institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil (PNPDEC). Em decorrência do histórico brasileiro, com grandes prejuízos associados aos desastres naturais, no texto da PNPDEC encontram-se vários aspectos, citações, e intenções que se relacionam com os recursos hídricos e seu gerenciamento. Como Venderuscolo & Kobiyama (2007) apontaram, as interfaces entre a PNPDEC e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que foi estabelecida pela Lei nº 9.433/97 (Brasil, 1997), devem ser analisadas mais detalhadamente.

Para uma melhor explanação de alguns aspectos da PNPDEC, Ministério da Integração Nacional (2012) publicou Instrução Normativa No. 01. Nesta Instrução Normativa, encontram-se vários fragmentos de texto onde o governo federal expressa a maneira como realizará a classificação brasileira dos desastres naturais:

“Art. 7º A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil adotará a classificação dos desastres constante do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU) e a simbologia correspondente.”

“Art. 8º Para atender à classificação dos desastres do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil passa a adotar a Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE, que segue como Anexo I desta Instrução Normativa.”

“ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE) Adequar a classificação brasileira à classificação utilizada pela ONU representa o acompanhamento da evolução internacional na classificação de desastres e o nivelamento do país aos demais organismos de gestão de desastres do mundo. Além disto, a classificação adotada pela ONU é mais simplificada do que a Codificação dos Desastres (CODAR) utilizada hoje pelo SINDEC.”

A partir das três expressões acima citadas, fica nítido que o governo federal tinha a intenção de tornar a classificação e codificação brasileira (COBRADE) muito semelhante à classificação internacional utilizada pela ONU, embora a classificação brasileira seja mais detalhada. Entretanto, pode-se dizer que a classificação brasileira não acompanha a alteração da classificação realizada pelo CRED, e mantém um estilo mais próximo à classificação antiga (Tabela 3).

Como já mencionado acima, na classificação internacional, o fluxo de detritos corresponde a um tipo de escorregamento que se enquadra na categoria de movimentos de massa úmida, que por sua vez pertence à classe de desastres hidrológicos. Por outro lado, na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), é a categoria de desastres geológicos que inclui os movimentos de massa que, por sua vez, englobam, entre outros, os deslizamentos e as corridas de massa. Aqui salienta-se que a COBRADE usa os termos deslizamentos e corridas de massa em vez de escorregamentos e fluxos de detritos, respectivamente. Estas corridas de massa subdividem-se em dois tipos: solo/lama e rocha/detrimento cujos COBRADEs são 1.1.3.3.1 e 1.1.3.3.2,

respectivamente. Assim, observa-se que a classificação brasileira não coincide com a classificação internacional em relação aos fluxos de detritos. Como este fenômeno é um tipo de movimento de massa úmida, para respeitar o Art. 7º do PNPDEC, os fluxos de detritos deveriam ser classificados como desastres hidrológicos. Aqui vale lembrar que Kobiyama *et al.* (2010a) mostraram que dentre todos os tipos de desastres naturais, os desastres hidrológicos (inundações + escorregamentos) são os que acarretam em maiores problemas tanto no Brasil quanto no mundo.

Tabela 3 – Diferenças entre as classificações brasileira e internacional dos desastres naturais.

Classificação Brasileira		Classificação Internacional	
Classe	Exemplo	Classe	Exemplo
Geológico	<ul style="list-style-type: none"> • Terremotos • Vulcanismos • Movimentos de massa • Erosão 	Geofísico	<ul style="list-style-type: none"> • Terremoto • Vulcanismo • Movimentos de massa (seca)
Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de grande escala • Tempestades • Temperaturas extremas 	Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> • Tempestades
Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> • Inundações • Enxurradas • Alagamentos 	Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> • Inundações • Movimentos de massa (úmida)
Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> • Secas 	Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas extremas • Secas/estiagens • Incêndios
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Epidemias • Infestações/pragas 	Biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Epidemias • Infestações de insetos • Debandadas de animais

Em relação ao fenômeno em si, ao tipo de material que flui, à categoria de desastre associado a tal fenômeno, entre outros, encontra-se uma grande variedade de terminologias e conceitos. Brunsten (1979) comentou que a terminologia e a classificação dos fluxos de detritos não são satisfatórias. A análise bibliográfica realizada pelo presente estudo mostra que este problema ainda hoje permanece na comunidade científica. Além da complexidade e dificuldade na identificação dos fenômenos, a não concordância administrativa torna o levantamento de trabalhos na literatura uma tarefa bastante ainda mais onerosa e complicada.

Com base em todos os exemplos acima mencionados, o presente estudo usa o termo técnico “fluxo de detritos” como correspondente ao termo inglês *debris flow*, e define-o como um

fenômeno de fluxo que se dá a partir da ocorrência de um escorregamento de solo e rocha. Devido à fluidez da mistura, seu alcance frequentemente é elevado, entretanto o presente trabalho não discute este valor detalhadamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando a diversidade de termos (fluxos de detritos, fluxos de escombros, corridas de massa, escorregamentos, deslizamentos, etc.), o presente realizou uma busca nos bancos de dados disponíveis na Internet, de trabalhos de conclusão de curso (TCC), dissertações e teses elaborados nas universidades brasileiras. Também foram buscados artigos publicados em encontros científicos, revistas e livros internacionais e nacionais na área de geociências e engenharias, buscando colecionar o maior número possível de trabalhos que abordaram os fluxos de detritos, tanto em português quanto em inglês.

As informações contidas em cada trabalho, por exemplo, descrição do fenômeno e fotos, também foram utilizadas para julgar se o tema do trabalho realmente estava relacionado aos fluxos de detritos. No caso de algum trabalho abordar somente escorregamentos translacionais, por exemplo, este não foi considerado como uma publicação relacionada a fluxos de detritos, sendo excluído da análise final realizada pelo presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSÃO

Registro antigo

Takahashi (1983) relatou que Schlumberger (1882) elaborou um dos primeiros relatos sobre fluxos de detritos na literatura mundial. Buscando na literatura brasileira antiga, um relato do Padre Anchieta descrevendo sua experiência em Piratininga em 1560 foi encontrado (Corrêa Filho, 1954):

“....., caiu com tanta violência que parecia ameaçar-nos o Senhor com a destruição; abalou as casas, arrebatou os telhados e derribou as matas; as árvores de colossal altura arrancou pelas raízes, partiu pelo meio outras menores, despedaçou outras, de tal maneira que ficaram obstruídas as estradas, e nenhuma passagem havia pelos bosques, era para admirar quantos estragos de árvores e casas produziu no espaço de meia hora.....”

Observa-se que essa descrição possivelmente relata a ocorrência de um evento chuvoso de grande magnitude seguido de um ou uma série de fluxos de detritos (ou lamas). Portanto, esse registro pode

ser considerado o mais antigo relacionado a este fenômeno no Brasil. Depois dele, várias pessoas registraram os fluxos de detritos de forma mais ou menos científica.

Análise histórica

No levantamento realizado através de buscas na Internet e também em bibliotecas, encontraram-se, no total, 151 trabalhos que foram publicados no período de 1949 até 2013. A descrição de todas as publicações encontra-se em Kobiyama & Michel (2014). Embora o período de investigação estenda-se a partir do início do século XX, nenhum trabalho técnico-científico foi encontrado até o ano de 1949. Observou-se que muitos trabalhos brasileiros, direta ou indiretamente, adotam a classificação de Varnes (1978). A Figura 1 mostra o número de trabalhos dividido em quatro categorias: livros; artigos em revistas; artigos em anais; e monografias (TCC, dissertação, tese, e relatório técnico). Observa-se claramente que a maior parte das publicações é de artigos em anais. Isto implica em uma qualidade limitada da produção científica relacionada a tal fenômeno no Brasil. Além disso, o número de livros científicos é pequeno, o que demonstra a dificuldade inerente ao estudo de tal assunto.

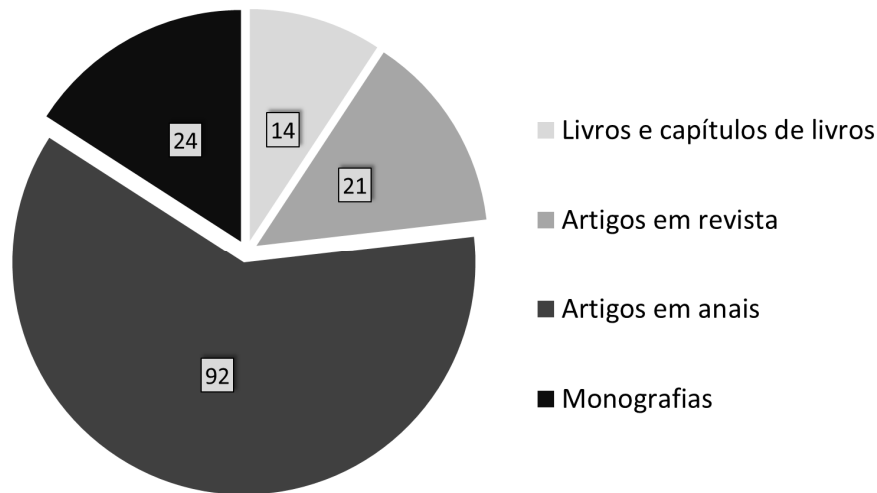


Figura 1 – Distribuição das publicações dos trabalhos científicos sobre fluxo de detritos no Brasil no período de 1900-2013 em diferentes categorias.

A Figura 2 apresenta a tendência histórica dos trabalhos no período de 1900 a 2013. Embora várias publicações tenham sido realizadas no período de 1966 a 1975, na década de 90 iniciou-se um aumento significativo das publicações.

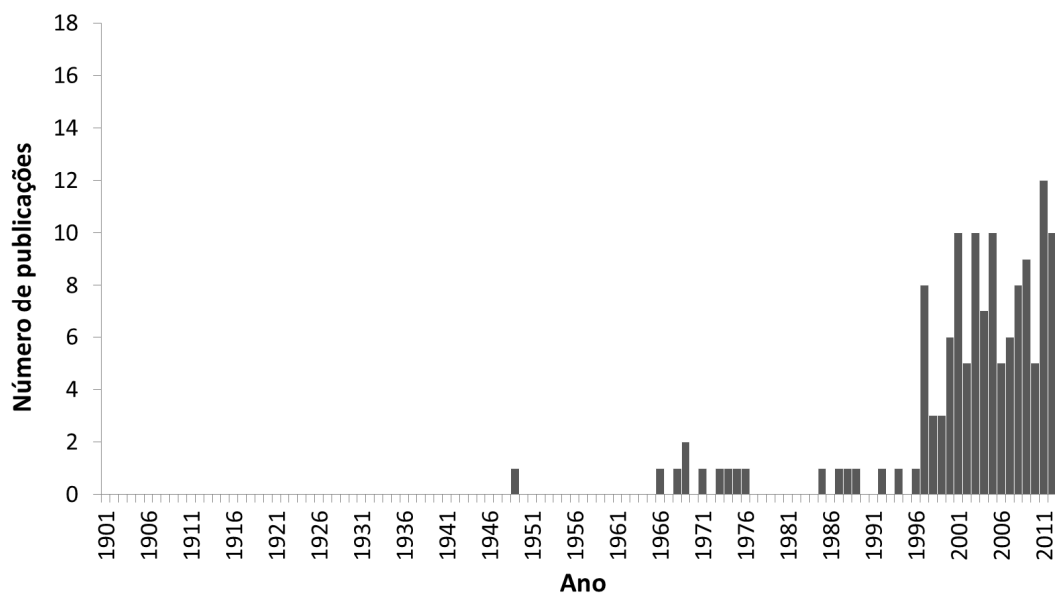


Figura 2 – Histórico dos trabalhos científicos sobre fluxos de detritos no Brasil no período de 1900-2013.

Analisando Marcelino *et al.* (2006) e Tominaga *et al.* (2009), entre outros, buscou-se informação sobre ocorrências de fluxos de detritos no Brasil no período 1900-2013. Pode-se dizer que o mais antigo desastre causado por fluxo de detritos no Brasil, registrado tecnicamente, aconteceu em Santos em 1928, causando 80 mortes e destruição parcial do hospital Santa Casa. Apesar disto, a comunidade científica não o investigou. Na Tabela 4, observa-se que no período 1966-1975 ocorreram desastres relacionados a fluxos de detritos de grande porte. Além disso, a partir da década de 90, fluxos de detritos que causam elevado número de fatalidades vêm acontecendo mais frequentemente. Observando a Figura 2 e a Tabela 4, pode-se dizer que o número das publicações foi elevado com o aumento da ocorrência de fluxos de detritos.

Sugestões para ações necessárias no Brasil

A análise histórica dos estudos sobre fluxos de detritos no Brasil demonstra a situação atual e traz diversas ações que deveriam ser implementadas urgentemente. Com base no fato de que os estudos sobre fluxos de detritos podem ser relevantes no entendimento do mecanismo de produção de sedimentos e no gerenciamento de desastres naturais causados pelo mesmo, o presente trabalho sugere (1) estabelecimento de conceito e terminologia padrão; (2) sistematização do monitoramento hidrometeorológico e levantamento topográfico; (3) registro de ocorrências e construção de banco de dados; e (4) pesquisas sobre fluxos de detritos lenhosos.

Tabela 4 – Desastres com fluxo de detritos no Brasil (1900-2013).

Ano	Local	Nº de mortes (aproximado)
1928	Santos (SP)	80
1948	Vale do Paraíba (SP/RJ)	250
1956	Santos (SP)	64
1966	Rio de Janeiro (RJ)	100
1967	Serra das Araras (RJ)	1700
1967	Caraguatatuba (SP)	120
1971	Salvador (BA)	104
1972	Campos do Jordão (SP)	10
1974	Tubarão (SC)	40
1986	Lavrinhas (SP)	11
1988	Cubatão (SP)	10
1988	Petrópolis (RJ)	171
1988	Rio de Janeiro (RJ)	30
1989	Salvador (BA)	100
1990	Blumenau (SC)	14
1992	Contagem (MG)	36
1995	Timbé do Sul (SC)	29
2001	Petrópolis (RJ)	51
2008	Vale do Itajaí (SC)	135
2010	Angula dos Reis (RJ)	30
2011	Serra Fluminense (RJ)	978
2013	Petropolis (RJ)	33

Modificação de Marcelino (2003) e Rosa Filho & Cortez (2008)

Estabelecimento de conceito e terminologia padrão

Embora o presente estudo adote o termo fluxo de detritos, a Defesa Civil no Brasil utiliza o termo corrida de massa, estabelecido pela COBRADE. Em termos de desastre, este fenômeno é classificado como hidrológico pelo CRED (nível internacional) e como geológico pela COBRADE (nível nacional). Assim, existe uma divergência na terminologia e conceito relacionados a este fenômeno.

Os fluxos de detritos possuem um caráter transicional e de fluidez. Assim, na comunidade científica, encontra-se subjetividade na sua definição, identificação e descrição. Para reduzir a subjetividade na identificação destes fenômenos, poderiam ser utilizados como critério diversos trabalhos, por exemplo, Wilford *et al.* (2004) que consideraram o fluxo de detritos, a inundação de detritos e a inundação como processos hidrogeomorfológicos e buscaram um método quantitativo para diferenciá-los através da morfometria. Este tipo de metodologia quantitativa será cada vez mais procurado no Brasil, a fim de melhorar a metodologia de registro. Como o ambiente brasileiro é

caracterizado por alta temperatura, pluviosidade e biodiversidade, os fluxos de detritos que aqui ocorrem podem ser diferentes daqueles que ocorrem fora do Brasil, especialmente na Europa e América do Norte. Justamente por isso, a comunidade científica brasileira deve discutir ainda mais a terminologia e o conceito utilizados.

Sistema de monitoramento hidrometeorológico e levantamento topográfico

É comumente dito que chuvas intensas podem causar fluxos de detritos (Znamensky, 2014). Justamente por isso, a chuva necessária para originar fluxos de detrito (por exemplo, Suzuki *et al.*, 1979; Suzuki & Kobashi, 1981; Kobashi & Suzuki, 1987; Wieczorek & Glade, 2005) e escorregamentos (por exemplo, Tatizana *et al.*, 1987; Michel *et al.*, 2014) é um dos temas principais abordados atualmente na ciência e tecnologia voltada ao gerenciamento de desastres.

Para se avançar ainda mais, é necessário que se implemente um sistema de monitoramento automático de chuva e vazão. Devido ao fato de que os fluxos de detritos são fenômenos que ocorrem bruscamente, principalmente nas regiões montanhosas, esse sistema deve ser implementado mais intensamente nas cabeceiras das bacias e preferencialmente deverá ter alta intensidade temporal de coleta de dados (intervalos de medição igual a 10 minutos ou menor).

Os fluxos de detritos ocorrem quase sempre relacionados à chuvas intensas. Devido a este fato, o CRED reformulou sua classificação de desastres naturais, inserindo os fluxos de detritos na categoria de desastres hidrológicos. Então, o monitoramento hidrológico, especialmente de chuva, deve ser ainda mais intensificado no Brasil.

A produção de sedimentos, associada a um evento do fluxo de detritos normalmente é elevada, o que claramente pode ser observado em campo. Entretanto, o reconhecimento sobre uma perspectiva mais quantitativa dos eventos ocorridos está longe de ser satisfatório. Isto ocorre devido à falta de informações topográfica pré e pós evento. Então, as regiões mais declivosas, as quais exibem uma maior tendência à ocorrência de fluxos de detritos, deveriam ser descritas topograficamente com maior precisão e frequência. Além disso, a realização de levantamentos topográficos nas zonas de iniciação, transporte e deposição de fluxos de detritos recém ocorridos poderia prover informações importantes no avanço dos estudos que abordam o fenômeno.

Registros de ocorrências e construção de banco de dados

A ciência ou um estudo científico sobre um fenômeno quase sempre inicia a partir de observações do mesmo. Por isso, para avançar a ciência dos fluxos de detritos, é fundamental realizar o registro de todas as ocorrências, independente do evento ter causado um desastre. Existem

diversas equações que foram estabelecidas somente a partir de bancos de dados contendo registros de ocorrências. Por exemplo, a equação que relaciona o ângulo de percurso do fluxo com o volume total de sedimento produzido (Corominas, 1996; Rickenmann, 1999). Como uma equação que descreve a situação brasileira ainda não foi elaborada, Kobiyama *et al.* (2010b) compararam seu resultado com fenômenos que ocorreram na Europa, usando uma figura de Rickenmann (2005). Para verificar a semelhança entre a situação brasileira e a européia e/ou para gerar a própria equação a fim de descrever a condição dos fluxos brasileiros, é imprescindível que um banco de dados contendo registros de ocorrências de fluxos de detritos seja criado e disponibilizado totalmente a todos interessados.

Na elaboração dos registros e construção de banco de dados, é necessário que alguns parâmetros mínimos sejam apontados. Existem, de maneira geral, sugestões e manuais para registros de escorregamentos, por exemplo, o manual de Highland & Bobrowsky (2008) e Corominas *et al.* (2014). Entretanto, um manual detalhado para registrar a ocorrência de fluxos de detritos não foi encontrado. Regime pluviométrico, informação topográfica, e horário de ocorrência são as características fundamentais a serem registradas. Além disso, caso for possível, informações pedológicas, geológicas, sedimentológicas, reológicas, hidráulicas, e outras características hidrológicas também devem ser registradas.

Pesquisas sobre fluxos de detritos lenhosos

Normalmente, os fluxos de detritos possuem uma mistura de duas fases (sedimentos e água). No caso de uma região montanhosa coberta por floresta, os troncos representam uma presença significativa. Entretanto, os efeitos dos troncos, ou ainda da vegetação em geral, nos mecanismos de ocorrência dos fluxos de detritos ainda não são reconhecidos cientificamente de maneira satisfatória (Lancaster *et al.*, 2003; Stoffel & Wilford, 2013). Embora existam diversas tentativas de modelar a dinâmica dos troncos no fluxo (Wallerstein, 2003; Mazzorana *et al.*, 2011; Shrestha *et al.*, 2012), nenhum modelo ainda é capaz de fazê-lo satisfatoriamente. Para a condição de clima temperado, Seo *et al.* (2010) realizaram uma revisão de literatura sobre a dinâmica dos troncos em nível de bacias hidrográficas.

O clima tropical e subtropical do Brasil facilita o aumento tanto da biodiversidade quanto da biomassa nas bacias, especialmente nas zonas ripárias. Como a vegetação ripária é muito rica, a presença de vegetação e de troncos na ocorrência de fluxos de detritos pode ser excepcionalmente significativa. Isto permite nos dizer que, quando ocorre um fluxo de detritos no Brasil, ele pode ser

categorizado como um fluxo de detritos lenhosos (*woody debris flow*). Assim, os estudos realizados no Brasil devem focar a dinâmica dos troncos no contexto integral do fluxo de detritos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fluxos de detritos não ocorrem frequentemente. Porém, quando ocorrem, são capazes de gerar grandes prejuízos e fatalidades. Portanto, a fim de reduzir desastres associados a fluxos de detritos, diversas medidas são necessárias, dentre as quais destaca-se o registro e descrição de tal fenômeno no momento de sua ocorrência e também a educação/conscientização previamente a sua ocorrência. Para promover a educação relacionada aos fluxos de detritos, são necessários materiais didáticos que por sua vez dependem da existência dos registros. Normalmente tais fenômenos ocorrem em regiões montanhosas, por isso, cidadãos comuns precisam receber uma boa educação sobre o tema para que possam registrá-los mais adequada e detalhadamente. Assim sendo, como Goerl *et al.* (2012) comentaram que o fluxo de detritos pode ser um dos principais objetos de estudo da hidrogeomorfologia; a geomorfologia, especialmente a hidrogeomorfologia, deve ser mais difundida em todos os níveis de ensino no Brasil, e essa ciência deve avançar no entendimento de tal fenômeno.

Devido à alta velocidade e enorme extensão, o fluxo de detrito é considerado um importante agente geomorfológico. Sua ocorrência pode ser fonte de grande quantidade de sedimentos para a rede fluvial (Gabet & Dunne, 2003). Segundo Benda *et al.* (2003), o fluxo de detritos altera a morfologia fluvial e afeta ecologia aquática. A longo prazo, este fenômeno contribui significativamente à produção de sedimentos e conseqüentemente à evolução de paisagem em bacias declivosas (Stock & Dietrich, 2003). Justamente por isso, do ponto de vista técnico (gerenciamento de desastres, conservação de água e solo, etc.) e científico (hidrologia, geomorfologia, e hidrogeomorfologia), é necessário aumentar o número de estudos e publicações relacionadas a fluxos de detritos a fim de popularizar e conscientizar a comunidade acerca de tal fenômeno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos membros do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela discussão cotidiana sobre fluxo de detritos e também ao CNPq pela concessão de bolsas.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, D. (1989) *Urban landslides*. Progress in Physical Geography 13, pp.157-191.
- ARMANINI, A.; MICHIUE, M. (Eds.) (1997) *Recent Developments on Debris Flows*. Berlin: Springer-Verlag, 226p.
- BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. (2009) *Disaster Category - Classification and peril Terminology for Operational Purposes*. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 19p.
- BENDA, L.; MILLER, D.; BIGELOW, P.; ANDRAS, K. (2003) *Effects of postwildfire erosion on channel environments, Boise River, Idaho*. Forest Ecology and Management 178, pp.105– 119.
- BRASIL (1997) *Lei no. 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei19979433.pdf>>. Acesso em 02 de outubro de 2012.
- BRASIL (2012) *Lei no. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil*. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em 02 de novembro de 2012.
- BRUNSDEN, D. 1979. *Mass movements, in Process in geomorphology*. Org. por EMBLETON, C.; THORNES, J. London: Edward Arnold, pp.130-86.
- COROMINAS, J. (1996) *The angle of reach as a mobility index for small and large landslides*. Canadian Geotechnical Journal 33(2), pp.260-271.
- COROMINAS, J.; VAN WESTEN, C.; FRATTINI, P.; CASCINI, L.; MALET, J.-P.; FOTOPOULOU, S.; CATANI, F.; VAN DEN EECKHAUT, M.; MAVROULI, O.; AGLIARDI, F.; PITILAKIS, K.; WINTER, M.G.; PASTOR, M.; FERLISI, S.; TOFANI, V.; HERVÁS, J.; SMITH, J.T. (2014) *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk*. Bull Eng Geol Environ 73, pp.209-263.
- CORRÊA FILHO, V. P. (1954) *José de Anchieta*. Revista Brasileira de Geografia XVI(2), pp.229-233.
- COSTA, J.E. (1988) *Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows, in Flood geomorphology*. Org. por BAKER, V.R.; KOCHER, R.C.; PATTON, P.C. New York: John-Wiley & Sons pp.113-122.

- COUSSOT, P.; MEUNIER, M. (1996) *Recognition, classification and mechanical description of debris Flows*. Earth-Science Reviews 40, pp.209-227.
- CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. (1996) *Landslide types and processes, in Landslides investigation and mitigation*. Org. por TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. Washington: Transportation research board, US National Research Council, pp.36–75. (Special Report 247)
- DAVIES, T.R.; PHILLIPS, C.J.; PEARCE, A.J.; ZHANG, X.B. (1992) *Debris flow behaviour – an integrated overview*. IAHS Publ. 209, pp.217-225.
- GABET, E.J.; DUNNE, T. (2003) *A stochastic sediment supply model for a steep Mediterranean landscape*. Water Resources Research 39(9), 1237. doi: 10.1029/2003WRR002341.
- GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. (2012) *Hidrogeomorfologia: Princípios, Conceitos, Processos e Aplicações*. Revista Brasileira de Geomorfologia 13(2), pp.103-111.
- GUHA-SAPIR, D.; VAS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. (2012) *Annual Disaster Statistical Review 2011: The numbers and trends*. Brussels: CRED, 42p.
- HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. (2008) *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*. Reston: U.S. Geological Survey, 129p. (Circular 1325)
- HUNGR, O.; EVANS, S.G.; BOVIS, M.; HUTCHINGSON, J.N. (2001) *Review of the classification of landslides of the flow type*. Environmental and Engineering Geoscience 7, pp.221-238.
- HUNGR, O.; LEROUEIL, S.; PICARELLI, L. (2014) *The Varnes classification of landslide types, an update*. Landslides 11, pp.167–194.
- HUTTER, K.; SVENDSEN, B.; RICKENMANN, D. (1996) *Debris flow modeling: A review*. Continuum Mech. Thermodyn. 8, pp.1-35.
- IMAIZUMI, F.; SIDLE, R.; KAMEI, R. (2008) *Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan*. Earth Surf. Process. Landforms 33, pp.827–840.
- INNES, J.L. (1983) *Debris flow*. Progress in Physical Geography 7, pp.469-501.
- IRDR - Integrated Research on Disaster Risk (2014) *Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1)*. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk, 24p.

- IVERSON, R.M. (1997) *The physics of debris flows*. Reviews of Geophysics 35, pp.245-296.
- IVERSON, R.M. (2004) *Debris flow*, in *Encyclopedia of Geomorphology*. Editado por GOUDIE, A.S., London: Routledge, pp.225.
- IVERSON, R.M.; REID, M.E.; LAHUSEN, R.G. (1997) *Debris-flow mobilization from landslides*. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 25, pp.85–138.
- JACOB, M.; HUNGR, O. (2005) *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer-Verlag, 739p.
- JAN, C-D.; SHEN, H.W. (1997) *Review Dynamic Modeling of Debris Flows*, in *Recent Developments on Debris Flows*. Org. por ARMANINI, A.; MICHIUE, M. Berlin: Springer-Verlag, pp.93-116.
- KOBASHI, S.; SUZUKI, M. (1987) *The critical rainfall (danger index) for disasters caused by debris flows and slope failures*. IAHS Publ. 165, pp.201-211.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P. (2014) *Bibliografia dos trabalhos de fluxos de detritos ocorridos no Brasil no período de 1949-2014*. Porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 15p. (Trabalho Técnico GPDEN. No. 01).
- KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; GOERL, R.F.; GIGLIO, J.N.; REGINATTO, G.M.P. (2010a) *Hydrological disasters reduction: lessons from hydrology*, in *Science and Technology for Environmental Studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany*. Org. por SENS, M.L.; MONDARDO, R.I. Florianópolis: Federal University of Santa Catarina, pp.49-72.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; CORREA, G.P.; MICHEL, G.P. (2010b) *Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects*, in *Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III*. Org. por WRACHIEN, D.; BREBBIA, C.A. Southampton: WITpress, p.77-88.
- LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K.; GRANT, G.E. (2003) *Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds*. Water Resources Research 39(6), doi:10.1029/2001WR001227
- MARCELINO, E. V. (2003) *Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG*. São José dos Campos. 228p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

- MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBİYAMA, M. (2006) *Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais*. Caminhos de Geografia 6(19), pp.130-149.
- MAZZORANA, B.; HÜBL, J.; ZISCHG, A.; LARGIADER, A. (2011) *Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers*. Natural Hazards 56, pp.425–449
- MICHEL, G.P.; GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M. (2014) *Critical rainfall to trigger landslides in Cunha River basin, southern Brazil*. Natural Hazards DOI 10.1007/s11069-014-1435-6.
- MINISTÉRIO DA INEGRACÃO NACIONAL (2012) *Instrução normativa No. 01, de 24 de agosto de 2012*. Diário Oficial da União 169 e 170.
- OKUDA, S.; SUWA, H.; OKUNISHI, K.; NAKANO, K.; YOKOYAMA, K. (1977) *Synthetic observation on debris flow. Part 3. Observation at valley Kamikamihorizawa of Mt. Yakedake in 1976*. Annuals DPRI 20B–1, pp.237–263.
- PETLEY, D.N. (2012) *Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding, in: Landslides and engineered slopes Vol 1*. Org. por EBERHARDT, E.; FROESE, C.; TURNER, A.K.; LEROUÉIL, S., London: CRC Press, pp.3-13.
- RICKENMANN, D. (1999) *Empirical relationships for debris flows*. Natural Hazards 19(1), pp.47-77.
- RICKENMANN, D. (2005) *Runout Prediction Methods, in Debris-flow hazards and related phenomena*. Org. por JACOB, M.; HUNGR, O. Berlin: Springer-Verlag, pp.305-324.
- ROSA FILHO, A.; CORTEZ, A.T.C. (2008) *Os deslizamentos de encostas nas favelas em áreas de risco da “suíça brasileira”: Campos do Jordão (SP)*. In: Anais do 1º SIMPGEO/SP, Rio Claro, pp.587-595.
- 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.
- SCHLUMBERGER, (1882) *Über den Muhrgangam 13 August 1876 im Wildbache von Faucon bei Barcelonnette (Nieder-alpen), in Studien über die Arbeiten der Gebirge*. Org. por DEMONZY, P. pp.289-299.

- SEO, J.I.; NAKAMURA, F.; CHUN, K.W. (2010) *Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions*. Landscape Ecological Engineering 6, pp.271–287.
- SEPÚLVEDA, S.A.; PETLEY, D.N. (submetido) *Regional Trends and Controlling Factors of Fatal Landslides in Latin America and the Caribbean*. Landslides.
- SHRESTHA, B.B.; NAKAGAWA, H.; KAWAIKE, K.; BABA, Y.; ZHANG, H. (2012) *Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans*. Natural Hazards 61, pp.577–602.
- STOCK, J.; DIETRICH, W.E. (2003) *Valley incision by debris flows: evidence of a topographic signature*. Water Resources Research 39 (4), 1089. doi: 10.1029/2001WR001057.
- STOFFEL, M.; WILFORD, D. (2012) *Hydrogeomorphic processes and vegetation: disturbance, process histories, dependencies and interactions*. Earth Surf. Process and Landforms 37, pp.9-22.
- SUZUKI, M.; KOBASHI, S. (1981) *The critical rainfall for the disasters by slope failures*. J. JSCEC 121, pp.16-26.
- SUZUKI, M.; FUKUSHIMA, Y.; TAKEI, A.; KOBASHI, S. (1979) *The critical rainfall for the disasters caused by debris movement*. J. JSCEC 110, pp.1-7.
- TAKAHASHI, T. (1983) *Debris flow, in Sediment disasters in river and their countermeasures*. Org. por Ashida, K.; Takahashi, T.; Michiue, M., Tokyo: Morikita Shuppan, pp.55-149.
- TAKAHASHI, T. (1991) *Debris flow*. Rotterdam: Balkema, 165p. (Monograph of IAHR).
- TAKAHASHI, T. (2007) *Debris Flow S Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Leiden: Taylor & Francis/Balkema, 448p.
- TAKAHASHI, T. (2009) *A review of Japanese debris flow research*. International Journal of Erosion Control Engineering 2(1), pp.1-14.
- TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. (1987) *Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão*. In Anais do V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo, vol.2, pp.225-236.
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (orgs.) (2009) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 196p.

- UNDP (2004) *Reducing disaster risk: a challenge for development*. New York: UNDP, 130p.
- USGS (1997) *Debris Flow Hazards in United States*. Denver: USGS National Landslide Information Center, 4p. Acesso em <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-176-97/fs-176-97.pdf> em 10/10/2014.
- VANDINE, D.F.; BOVIS, M. (2002) *History and Goals of Canadian Debris Flow Research, A Review*. *Natural Hazards* 26, pp.69–82.
- VARNES, D.J. (1978) *Slope movement types and processes, in Landslides, analysis and control*. Org. por SCHUSTER, R.L.; KRIZEK, R.J., Washington: Transportation research board/National Academy of Sciences, pp.11–33. (Special report 176).
- VENDRUSCOLO, S.; KOBIYAMA, M. (2007) *Interfaces entre a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Defesa Civil, com relação aos desastres hidrológicos, no Brasil*. In *Anais de Jornadas Internacionais sobre Gestão del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas*. São Carlos: USP/EESC/NIBH, 22p. CD-rom.
- WALLERSTEIN, N. P. (2003) *Dynamic model for constriction scour caused by large woody debris*. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, pp.49–68.
- WIECZOREK, G.F.; GLADE, T. (2005). *Climatic factors influencing occurrence of debris flows, in Debris-flow hazards and related phenomena*. Org. por JACOB, M.; HUNGR, O. Berlin: Springer-Verlag, pp.325-362.
- WILFORD, D.J.; SAKALS, M.E.; INNES, J.L.; SIDLE, R.C.; BERGERUD, W.A. (2004) *Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics*. *Landslides* 1, pp.61-66.
- ZNAMENSKY, D. (2014) *Debris and mudflow initiation processes in Brazilian tropical and subtropical humid and mountainous environments, in Extreme rainfall induced landslides: an international perspective*. Org. por LACERDA, W.A.; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L.; EHRLICH, M. São Paulo: Oficina de Textos, pp.103-127.