

A HIDROGEOMORFOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA POPULARIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SABO NO BRASIL

HYDROGEOMORPHOLOGY AS A TOOL FOR POPULARIZATION AND DEVELOPMENT OF SABO IN BRAZIL

LA HIDROGEOMORFOLOGÍA COMO HERRAMIENTA DE POPULARIZACIÓN Y DESARROLLO DE SABO EN BRASIL

Masato Kobiyama

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS
masato.kobiyama@ufrgs.br

Karla Campagnolo

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS
kbcampagnolo@gmail.com

Roberto Fabris Goerl

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, s/nº, Florianópolis/SC,
roberto.f.goerl@ufsc.br

RESUMO

A gestão integrada de redução de desastres com base em SABO vem se popularizando no Brasil, que por sua vez é tradicionalmente conhecido no Japão como o conjunto de ciência-tecnologia-cultura, o qual busca sistemas de proteção para áreas montanhosas, com ênfase em desastres relacionados a sedimentos. O presente trabalho, por meio de revisão de literatura e bibliometria, buscou apresentar o conceito e histórico de SABO e a sua relação com a hidrogeomorfologia. Após levantamento bibliográfico, encontrou-se uma tendência crescente do número de publicações relacionadas à hidrogeomorfologia tanto no mundo quanto no Brasil, mas com tendência menos significativa em escala nacional. Isso implica em uma maior necessidade de incentivar a pesquisa na área de hidrogeomorfologia no Brasil, de forma que este incentivo pode ser realizado por meio de disciplinas de hidrogeomorfologia em diferentes cursos no ensino superior. A disciplina deve abranger processos hidrogeomorfológicos elementares (intemperismo, dinâmica da água em encosta e balanço de sedimentos) bem como mecanismos dos fenômenos causadores de desastres (e.g., fluxos de detritos, escorregamentos e inundação brusca).

Palavras-chave: Educação; Livros; Desastres relacionados a sedimentos; Região montanhosa.

ABSTRACT

SABO-based integrated disaster reduction management has become popular in Brazil. SABO is traditionally known in Japan as the science-technology-culture set, and seeks protection systems for mountainous areas, with an emphasis on sediment-related disasters. The present study, through literature review and bibliometrics, demonstrated the concept and history of SABO and its relationship with hydrogeomorphology. After a bibliographical survey, a growing trend was observed in the number of publications related to hydrogeomorphology both in the world and in Brazil, however with a less significant trend on a national scale. It implies a stronger necessity to encourage hydrogeomorphological researches in Brazil, so that this incentive can be carried out through hydrogeomorphology disciplines in various higher-education courses. The subject should cover basic hydrogeomorphic processes (e.g., weathering, slope water dynamics and sediment budget) as well as mechanisms of phenomena that cause disasters (debris flows, landslides and flash floods).

Keywords: Education; Books; Sediment-related disasters; Mountainous region.

RESUMEN

La gestión integrada de reducción de desastres basada en SABO se viene popularizando en Brasil, que, a su vez, es conocido tradicionalmente en Japón como el conjunto de ciencia-tecnología-cultura, el cual busca sistemas de protección para áreas montañosas, con énfasis en desastres relacionados con sedimentos. El presente trabajo, a través de la revisión de literatura y la bibliometría, buscó presentar el concepto y el histórico de SABO, como su relación con la hidrogeomorfología. Luego del levantamiento bibliográfico, se encontró una tendencia creciente en el número de publicaciones relacionadas con hidrogeomorfología, tanto en el mundo como en Brasil, pero con una tendencia menos significativa a nivel nacional. Esto, implica una mayor necesidad de incentivar la investigación en el área de hidrogeomorfología en Brasil, para que este incentivo pueda realizarse a través de disciplinas de hidrogeomorfología en diferentes cursos de educación superior. El curso debe cubrir procesos hidrogeomorfológicos elementales (meteorización, dinámica del agua en laderas y balance de sedimentos), así como, los mecanismos de los fenómenos que causan desastres (por ejemplo, flujos de detritos, deslizamientos de tierra e inundaciones repentinas).

Palabras clave: Educación; Libros; Desastres relacionados con sedimentos; Región montañosa.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres associados aos movimentos de massa, como escorregamentos e fluxos de detritos, são denominados desastres relacionados a sedimentos (*sediment-related disasters*) (UCHIDA et al., 2009). No caso do *Emergency Disaster Data Base – EM-DAT* do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED*, que propõe uma nova classificação internacional de desastres, os desastres acima mencionados, juntamente com inundação e enxurrada, são classificados como desastres hidrológicos (BELOW; WIRTZ; GUHA-SAPIR, 2009). Essa classificação pode ser naturalmente inferida pelo fato onde os eventos naturais causadores desses desastres são, em princípio, a união de chuvas intensas com determinadas características das bacias hidrográficas, ou seja, processos hidrológicos.

No século XXI ocorreram no Brasil grandes tragédias relacionadas a desastres hidrológicos, por exemplo, Vale do Itajaí em 2008 (FRANK; SEVEGNANI, 2009) e serra fluminense em 2011 (COELHO NETTO et al., 2013). A principal reação política a esses eventos de elevada magnitude foi

a aprovação da Lei 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil – PNPDEC (BRASIL, 2012). A partir disso, a sociedade brasileira começou a dar mais atenção aos desastres relacionados a sedimentos, além daqueles relacionados à água. A preocupação com sedimentos aumentou ainda mais devido ao rompimento das barragens nas cidades de Mariana em 2015 (ALMEIDA et al., 2018) e Brumadinho em 2019 (ALMEIDA; JACKSON FILHO; VILETA, 2019).

Na vertente atlântica brasileira, onde se encontram várias cidades de grande porte e densamente povoadas, o crescimento populacional é expressivo, mesmo em áreas com ambientes montanhosos. Existe também uma necessidade crescente de obtenção dos materiais para construção civil, de geração de energia e também de garantia de alimentos, o que naturalmente vem causando a intensificação e a expansão das atividades florestais e agrícolas. Todos esses fatores, aliados à necessidade de abastecimento hídrico e construção de pequenas centrais hidrelétricas – PCHs, causam impactos muitas vezes irreversíveis às bacias montanhosas. Este cenário é potencializado por essa ocupação ocorrer comumente sem planejamento adequado (KOBİYAMA et al., 2018). Como os desastres relacionados a sedimentos ocorrem predominantemente em áreas montanhosas, os estudos e a gestão de desastres hidrológicos nesses locais devem ser incentivados no Brasil.

O uso intensivo do solo sem planejamento adequado e a intensificação do regime pluviométrico são fatores potencializadores e causadores, respectivamente, das ocorrências de fenômenos naturais violentos nas bacias montanhosas, os quais podem ser movimento de massa ou inundação brusca. Tais fenômenos causam danos materiais, culturais e ambientais bem como a perda de vidas humanas (KOBİYAMA et al., 2018).

Neste contexto, o governo brasileiro estabeleceu uma cooperação técnica com o governo japonês via a *Japan International Cooperation Agency* – JICA, e realizou o Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos e Desastres Naturais (Projeto GIDES) no período de 2013 a 2017. Os resultados obtidos nesse projeto podem ser encontrados em diversos relatórios técnicos e científicos (HANDA, 2014; YAMAKOSHI, 2018; KATO, 2018; YAMAKOSHI et al., 2018; DI GREGORIO et al., 2019; GIUSTINA, 2019). Nessa cooperação, os especialistas japoneses que vieram para trabalhar na gestão de riscos e desastres eram da área do SABO. Ou seja, a JICA tentou fortalecer a estratégia brasileira por meio da introdução de conhecimentos técnico-científicos e culturais do SABO, os quais são desenvolvidos tradicionalmente no Japão há séculos.

Sabe-se que a intensificação dos eventos extremos hidrológicos é devido à atual mudança climática global (MARENGO, 2008; ANA, 2016; IPCC, 2021). Aliado a essa intensificação, o aumento da exposição aos perigos naturais, tais como escorregamento e inundação brusca, causará ainda mais desastres relacionados a sedimentos. Portanto, pode-se dizer que o estabelecimento do SABO e seu desenvolvimento são urgentemente necessários no Brasil.

Para melhorar quaisquer atividades na sociedade, o desenvolvimento da ciência e sua aplicação são fundamentais. No caso do SABO, a ciência fundamental pode ser a hidrogeomorfologia, a qual é definida, segundo Okunishi (1994), como o estudo sobre as interações entre processos hidrológicos e geomórficos. A fim de fortalecer o conhecimento da sociedade brasileira em relação ao SABO, é preciso desenvolver sua base, isto é, a hidrogeomorfologia.

Neste contexto, o presente trabalho teve como principais objetivos (i) apresentar o conceito e o histórico de SABO no Japão e sua aplicação no Brasil; (ii) revisar a situação atual da pesquisa sobre hidrogeomorfologia no mundo e no Brasil e seu ensino em nível superior no país; e (iii) demonstrar a importância da hidrogeomorfologia para desenvolver e popularizar o SABO no Brasil.

Para alcançar esses objetivos, uma avaliação de diversos livros sobre o SABO e a hidrogeomorfologia foi realizada. Considera-se que o objetivo principal de um livro técnico-científico é repassar os conhecimentos atuais do tema aos leitores (muitas vezes, alunos de graduação e de pós-graduação) e melhorar a qualidade de ensino superior na área, objeto de estudo. Portanto, essa avaliação é relevante e necessária a fim de propor conteúdos para disciplinas e também para livros sobre o SABO e a hidrogeomorfologia, adequados à realidade no Brasil.

As diferenças no uso de termos técnico-científicos e suas definições em diferentes países do mundo dificultam a transferência de conhecimento. Além disso, as traduções de artigos técnicos e apresentações são particularmente complicadas e problemáticas (CAMIRÉ; PITON; SCHWINDT, 2019). Nesse sentido, a popularização do SABO no Brasil deve ser um grande desafio para pesquisadores e gestores.

2. METODOLOGIA

2.1. CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS BIBLIOGRÁFICO

O primeiro passo metodológico baseou-se na busca de referências relacionadas à história, definição e atividades de SABO no Japão. Após essa análise, as produções bibliográficas mais importantes foram sistematizadas e apresentadas resumidamente em forma de quadros.

A fim de analisar os trabalhos técnico-científicos sobre a hidrogeomorfologia no mundo e também no Brasil, no mês de outubro de 2021 revisou-se a literatura publicada no período de 1980 a 2021, por meio de duas plataformas: *Web of Science* e *Google Acadêmico*. Na primeira, foram utilizadas 3 palavras-chave, “hydrogeomorphology”, “hydrogeomorphic”, ou “hydrogeomorphological”, enquanto que na segunda 5 palavras, “hidrogeomorfologia”, “hidrogeomorfológica”, “hidrogeomorfológica”, “hidrogeomórífico” ou “hidrogeomórífica”.

Também, buscou-se informações sobre os livros relacionados à hidrogeomorfologia na literatura japonesa, portuguesa e inglesa. De maneira análoga ao que foi feito com o tema SABO, o conteúdo dos livros foi analisado e apresentado em forma de quadro.

Além disso, em outubro de 2021, buscaram-se informações das disciplinas existentes em universidades brasileiras, as quais possuem o termo hidrogeomorfologia explicitamente em seus títulos. Com base nessas informações obtidas, analisou-se os conteúdos relevantes para a hidrogeomorfologia e para o SABO, materializando-os na forma de uma disciplina em curso de nível superior no Brasil.

3. SABO

3.1. Histórico e conceito

A tradução direta do termo japonês 砂防 (SABO) é “proteção de areia”. No Japão, o trabalho do SABO atualmente corresponde à implementação e manutenção de sistemas de proteção para áreas montanhosas, com ênfase em desastres relacionados a sedimentos.

O objetivo inicial do SABO era controlar a dinâmica da natureza (especialmente água e sedimento) e buscar um equilíbrio entre os processos naturais, com enfoque em longo prazo. NBSAP (2016) relatou que a aplicação de técnicas para controle da erosão em montanhas florestadas é executada desde a fundação do país, ou seja, aproximadamente há dois milênios. Leis restringindo o corte de árvores foram criadas no Período de Nara (cerca de 700 D.C.), como medidas para minimizar a ocorrência de desastres relacionados a sedimentos (IPR, 2003), entretanto tais desastres, junto com desastres associados a inundações, continuaram. Então, no Período de Edo (1603 até 1868), diversas medidas para o controle de erosão foram implementadas em diversas províncias, a fim de proteger as terras agrícolas recém-recuperadas e preservar as rotas de transporte fluviais. Em 1666, o governo japonês promulgou a “Lei das Montanhas e dos Rios”, que proibia a poda das raízes das árvores, a agricultura com supressão e queima de vegetação e o cultivo nas margens dos rios, e ordenando também o plantio de mudas de árvores nas cabeceiras de rio.

Em 1873 o termo SABO apareceu oficialmente pela primeira vez no Japão, na promulgação da “Lei de SABO em mananciais do rio Yodo” (KURISHIMA, 2014). Nota-se que o rio Yodo atravessa cidades importantes tais como Kyoto e Osaka. Depois disso, em 1897, em nível nacional, a Lei de SABO foi estabelecida. Para difundir ainda mais o SABO, o governo japonês teve necessidade de aumentar o número de pesquisadores do assunto, e criou o primeiro laboratório de SABO no país, dentro do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Tokyo, em 1900 (NISHIMOTO, 2018). Essa criação dentro da comunidade da engenharia florestal resultou do pensamento tradicional do povo japonês, isto é, o controle de sedimento e água na montanha deve ser feito juntamente com a floresta. Para melhorar as práticas de SABO, em 1916 foi publicado, no Japão, o primeiro livro técnico sobre SABO, escrito pelo Dr. Kitaro Moroto, professor responsável pelo Laboratório de Hidrologia Florestal e SABO na Universidade de Tokyo (YAMAGUCHI; OSANAI, 2012).

Em 1948, a associação científica *New Sabo Publication Association* foi criada, sendo basicamente formada pela equipe do Laboratório de SABO da Engenharia Florestal da Escola de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade de Kyoto. Essa associação fundou a revista científica “New Sabo”. Em 1951, a associação mudou seu nome para *Japan Society of Erosion Control Engineering* – JSECE. Atualmente, ela realiza um simpósio anual e lança dois tipos de revistas científicas, sendo uma para divulgação nacional de frequência bimestral (*Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*) e a outra internacional, de frequência trimestral (*International Journal of Erosion Control Engineering*).

Fora da esfera científica encontram-se duas comunidades relacionadas a SABO. Uma é a fundação “*Sabo & Landslide Technical Center (STC)*”, que realiza projetos, pesquisas, serviços internacionais, entre outros. O STC também publica a revista técnica “SABO” para fins promocionais, cuja publicação é semestral. A outra comunidade é a corporação *Japan SABO Association*, cujos membros são dos governos municipais e estaduais no Japão, tendo aproximadamente 1500 associados. Essa associação lança a revista “*Sabo News Letter*” mensalmente e a revista técnica “*Sabo and Chisui*” bimensalmente. O termo “*Chisui*” significa manejo hídrico em japonês. O Número 5 do Volume 49 desta revista, publicado em 2016, tratou da edição especial de “SABO japonês enraizado no mundo”. Assim, nota-se que as comunidades de SABO no Japão são muito ativas e buscam divulgar seus conhecimentos técnico-científicos em várias plataformas.

Os pesquisadores japoneses na área do SABO, na tentativa de explicar ou aplicar seus conhecimentos no exterior, comumente utilizavam o termo inglês “*erosion control*” como uma tradução adequada. Entretanto, o termo japonês SABO vem sendo cada vez mais utilizado em outras partes do mundo, e praticamente se tornou um termo universal (KAIBORI, 2018).

Efetivamente, SABO não é somente o controle da erosão. Por exemplo, relatando as barragens de SABO como a principal estrutura física do sistema de proteção de desastres de sedimento em regiões montanhosas no Japão, Chanson (2004) manifestou que um projeto bem sucedido está intimamente ligado a uma abordagem global de bacias hidrográficas, combinando hidrologia, geomorfologia, engenharia hidráulica e ambiental, e eventualmente, a estética. Essa abordagem deve ser combinada com o planejamento em longo prazo.

A barragem de SABO (*SABO dam*) é popularmente chamada como *check dam* em inglês. Esse tipo de barragem está sendo instalada em muitos locais no mundo para controle de canal de voçorocas, sendo construída aliada ao uso da vegetação para diminuir o risco de falhas (FRANKL et al., 2021).

Para explicar melhor o SABO, Mizuyama (2008) comentou que as práticas de controle de erosão (que fazem parte do método) no Japão são mais intensivas do que aquelas realizadas na Europa. Segundo o autor, as obras do SABO atualmente protegem não apenas a erosão da superfície e o transporte de sedimentos em rios montanhosos, mas também de escorregamentos translacionais, rotacionais e avalanches de neve. Os trabalhos de SABO também protegem terras contra perigos vulcânicos, incluindo: (i) fluxos de cinzas vulcânicas (*lahars*); (ii) fluxos de lava; e (iii) fluxos piroclásticos. Medidas contra o transporte de sedimentos pelo vento nas praias e nas margens dos desertos também fazem parte das obras de SABO.

Durante a década de 1990, houve uma maior preocupação ambiental na comunidade de SABO no Japão. Considerando a grande contribuição do método para preservação ambiental, Nakamura (1992) definiu o SABO como uma ciência que desenvolve teorias e técnicas para evitar os desastres da erosão, sem interromper os diversos processos nos ecossistemas naturais. Conforme Zema et al. (2018) que estudaram a região montanhosa do Mediterrâneo, existem diversos registros de efeitos ambientalmente negativos da barragem de SABO. A relação entre o SABO e questões ambientais deve ser cada vez mais discutida.

No Brasil, existe apenas uma obra de SABO tecnicamente e cientificamente relatada até hoje, a qual foi construída no município de Cubatão/SP, na região de Serra do Mar. Essa obra foi realizada para a proteção de uma refinaria da Petrobras, devido a preocupações com ocorrência de escorregamentos e fluxos de detritos (KANJI; CRUZ; MASSAD, 2008; CRUZ et al., 2019). Assim, pode-se dizer que existia apenas um único exemplo de SABO no país antes do Projeto GIDES.

Entretanto, diversas obras simples e de pequeno porte no Brasil podem ser consideradas um tipo de SABO. Por exemplo, relatando a ocorrência de desastre natural na serra fluminense em 2011, Nehren et al. (2014) apresentaram diversos exemplos implementados em áreas afetadas. A maioria das medidas relatadas por esses autores foi com base no uso de florestas ou árvores. Assim, esses exemplos foram discutidos como as boas práticas de redução de risco de desastre baseada em ecossistemas (*Ecosystem-based disaster risk reduction – Eco-DRR*). Segundo Estrella e Saalismaa (2013), a Eco-DRR é definida como a gestão, conservação e restauração sustentável de ecossistemas para reduzir o risco de desastres, com o objetivo de alcançar um desenvolvimento sustentável e resiliente. Moos et al. (2018) salientaram que o exemplo mais proeminente de Eco-DRR em regiões montanhosas são as florestas que protegem as pessoas, assentamentos e infraestruturas contra perigos naturais como escorregamentos e inundação brusca.

Para discutir técnicas de renaturalização de rios como uma parte do manejo de zona ripária, Kobiyama et al. (2020a) mencionaram que Eco-DRR, engenharia biotécnica, bioengenharia, ecoengenharia, engenharia ecológica, engenharia natural e SABO são muito similares. Todas as abordagens técnicas utilizam funções dos organismos vivos e/ou materiais de origem orgânica. Em outras palavras, todos eles tentam aproveitar ou buscar um sistema que exerça os serviços ecossistêmicos. No caso do presente trabalho, devido ao contexto do Projeto GIDES, o termo SABO foi objeto de análise principal.

Considerando sua ampla aplicabilidade no mundo, o presente trabalho define SABO como o conjunto de ciência, tecnologia e cultura para estudar a dinâmica de sedimentos e de água em bacias montanhosas, buscando minimizar os desastres relacionados a sedimentos e procurando a harmonia entre a sociedade e o meio ambiente. Nesse sentido, pode-se dizer que as medidas com base no Eco-DRR no Brasil podem ser consideradas como práticas de SABO.

3.2. Materiais bibliográficos

Como mencionado, existem diversas revistas técnica-científicas relacionadas ao SABO, onde pode-se encontrar centenas de trabalhos sobre o tema. Entretanto, para enfatizar mais o ensino de SABO, o presente trabalho enfocou nas publicações em forma de livros.

Por meio de revisão da literatura, foram encontrados diversos livros sobre SABO, todos escritos em japonês, o que confirma que trata-se de um tema pouco popular na literatura científica internacional. Os livros encontrados são Noguchi et al. (1969), Komamura (1978), Yamaguchi (1985), Takei (1990, 1993), Tsukamoto e Kobashi (1991), Kobashi (1993), Ohta e Takahashi (1999), Hayashi (2008), Minami e Osanai (2014), e Marutani (2019). Ressalta-se que todos os autores desses livros pertencem à comunidade da Engenharia Florestal no Japão. Além disso, existe uma série de livros com 10 volumes, publicados pela JSECE no período de 1991 a 1993. Os títulos desses 10 volumes são: (i) SABO no Japão; (ii) Produção de sedimento e influência da floresta; (iii) Transporte de sedimentos em

encosta; (iv) Transporte de sedimentos em rios montanhosos; (v) Medidas para desastres de sedimentos – em redes fluviais; (vi) Medidas para desastres de sedimentos – fluxos de detritos e leque aluvial; (vii) Medidas para desastres de sedimentos – escorregamentos; (viii) Medidas para avalanches; (ix) Tendência de SABO; e (x) SABO no mundo.

O Quadro 1 apresenta 4 livros de SABO relevantes no Japão. Os livros tratam de dois temas principais: (i) a dinâmica de sedimentos nas bacias montanhosas com ênfase em erosão superficial e movimento de massa (escorregamento e fluxo de detritos); e (ii) medidas preventivas para reduzir desastres relacionados a sedimentos, especialmente construção de barragem de SABO. Os conteúdos desses livros mostram a necessidade de conhecimento em diversas áreas, tais como hidrologia, hidráulica fluvial, geomorfologia, e mecânica do solo. Desta forma, SABO pode ser considerado uma ciência integradora a fim de reduzir os desastres relacionados a sedimentos (KAIBORI, 2018).

Quadro 1 - Livros de SABO populares no Japão e seus sumários.

Autor	Título do livro	Sumário
Komamura (1978)	Conservação de montanha e engenharia de SABO	1. Ciências relacionadas ao SABO; 2. Geomorfologia da montanha; 3. Produção de água na montanha; 4. Água em rios montanhosos; 5. Transporte/deposição de sedimentos em rio montanhoso; 6. Erosão em encostas; 7. Escorregamentos; 8. Deformação e fluxo de massa; 9. Aspectos gerais de obras; 10. Obras para controle de erosão em encostas; 11. Obras em rios montanhosos; 12. Barragem de SABO; 13. Obras para prevenção de escorregamentos.
Tsukamoto e Kobashi (1991)	Nova engenharia de SABO	1. Erosão/deposição e desastres de sedimentos; 2. Características das zonas de erosão/deposição e atividades humanas no Japão; 3. História de ocorrências de desastres de água e de sedimentos e de suas medidas preventivas no Japão; 4. Teorias de erosão e movimento de massas e medidas preventivas contra desastres de sedimentos; 5. Movimento de sedimentos em bacias e medidas preventivas; 6. Serviços florestais para redução de desastres; 7 Teoria de avalanche e medidas preventivas; 8. Projeto de obras; 9. Conhecimento básico e levantamento.
Hayashi (2008)	Introdução de SABO para conservação da natureza	1. O que é SABO conservacionista?; 2. Dinâmica na natureza; 3. Restauração e conservação da natureza; 4. Processos de degradação da natureza; 5. Desastres de sedimentos e movimentos de massa; 6. Desastres de sedimentos e características de encosta e hidrológicas.
Marutani (2019)	SABO	1. Desastres naturais e sociedade; 2. Papel de SABO; 3. Transporte de sedimentos e alterações terrestres; 4. Métodos de monitoramento e de análise; 5. Desastres de sedimentos; 6. Técnicas de SABO.

A fim de demonstrar uma visão geral de SABO no Japão, Mizuyama (2008) relatou as seguintes ações: (i) estudo de mecanismos de processos de chuva-vazão, fluxo de detritos, escorregamentos, transporte de sedimentos, fluxo de lava e avalanches de neve; (ii) planejamento de controle de sedimentos na escala da bacia hidrográfica; (iii) gestão de sedimentos das montanhas até zonas costeiras; (iv) medidas estruturais de controle de fluxo de detritos, especialmente barragens de SABO de tipo aberto; (v) medidas estruturais de escorregamentos; (vi) previsão da ocorrência do fluxo de detritos e de escorregamentos, incluindo a localização, momento e magnitude do evento, bem como efeitos na área impactada; (vii) análise das condições críticas das chuvas que desencadeiam fluxos de detritos e escorregamentos; (viii) estudo de escorregamentos ocorridos por terremotos; (ix) estudo de barragens naturais de escorregamentos e seus rompimentos; e (x) desenvolvimento de obras de SABO, levando em consideração a preservação do meio ambiente em montanhas e enxurradas (e.g. preservando populações de peixes, animais e insetos ao longo de rios propensos a enxurradas). O autor também mencionou que pesquisas científicas vêm sendo realizadas para apoiar essas medidas estruturais e não estruturais do SABO no Japão. A maior parte dos resultados obtidos pelas pesquisas científicas pode ser encontrada na *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, onde os artigos estão escritos em japonês.

4. HIDROGEOMORFOLOGIA

4.1. Conceito e produção bibliográfica

O termo “hidrogeomorfologia” surgiu na literatura científica no início da década de 1970, por meio de Coates (1971) e Scheidegger (1973). Desde então, essa ciência vem sendo desenvolvida em ambas as áreas: hidrologia e geomorfologia. Por exemplo, a comunidade científica vem reconhecendo a importância de abordagem hidrogeomorfológica no mapeamento de inundação e aplicando essa ciência na prática (BAKER, 1976; PATTON; BAKER, 1976; GREGORY, 1979; KENNY, 1990; NARDI et al., 2018; ANNIS et al., 2019; TAVARES DA COSTA et al., 2019).

Goerl, Kobiyama e Santos (2012) realizaram uma revisão conceitual sobre a hidrogeomorfologia, demonstrando as suas diversas definições. Entre vários trabalhos de caráter de revisão e conceituais, o trabalho de Sidle e Onda (2004) deve ser destacado. Relatando a sessão especial ‘*Interaction between geomorphic changes and hydrological circulation*’, a qual faz parte da 5ª Conferência Internacional de Geomorfologia (*Fifth International Conference on Geomorphology, ICG-5*) realizada em Tokyo no período de 23 a 28 de agosto de 2001, os autores descreveram o estado de arte sobre a hidrogeomorfologia. Considerando todo o histórico do desenvolvimento dessa ciência no mundo, esses autores definiram a hidrogeomorfologia como uma ciência interdisciplinar que se concentra na interação e ligação de processos hidrológicos com formas de relevo ou materiais terrestres, e também na interação de processos geomórficos com água superficial e subterrânea em dimensões temporais e espaciais. Embora essa definição seja mais completa, a definição proposta por Okunishi (1994) pode ser também utilizada pela sua simplicidade, na qual a hidrogeomorfologia é o estudo das interações entre processos hidrológicos e geomórficos. Desta forma, o presente trabalho adota essa definição.

Após levantamento em duas plataformas na internet (*Web of Science* e *Google Acadêmico*), encontrou-se claramente uma tendência crescente do número de publicações de trabalhos relacionados à hidrogeomorfologia, tanto na literatura internacional como nacional (Figura 1). Entretanto, a tendência internacional é maior do que a nacional. Além disso, observa-se uma lacuna de 35 anos entre os primeiros estudos publicados na literatura internacional quando comparados aos estudos nacionais.

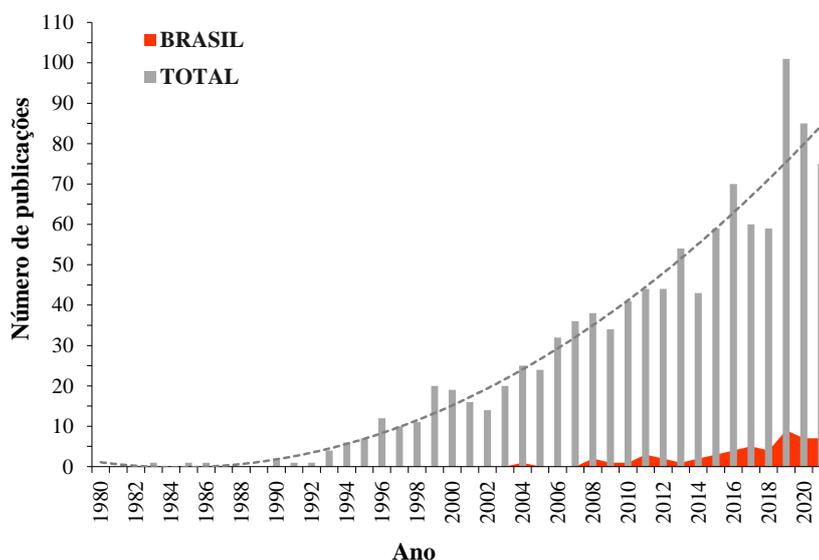


Figura 1 - Publicações de trabalhos relacionados à hidrogeomorfologia no mundo e no Brasil no período de 1980-2021.

Em relação aos livros, notou-se que aqueles cujos títulos possuem especificamente a palavra “hidrogeomorfologia” eram apenas quatro no mundo, sendo dois em japonês e dois em inglês. Comparando os conteúdos desses quatro livros do Quadro 2, observa-se que não existe consenso entre os autores (cientistas) sobre como ensinar a hidrogeomorfologia. Outros livros que tratam de hidrogeomorfologia são Agone (2014) e Nicu (2016), entretanto esses livros foram publicados com base nas teses de doutorado dos próprios autores. Portanto, o presente trabalho não realizou sua avaliação.

Quadro 2 - Livros sobre hidrogeomorfologia e seus sumários.

Autor	Título do livro	Sumário
Onda et al. (1996)	Hidrogeomorfologia: A interação entre processos hidrológicos e geológicos	1. Introdução a hidrogeomorfologia; 2. Processos hidrológicos em encostas e características físicas das mesmas; 3. Interações entre o ciclo hidrológico e os processos geomorfológicos; 4. Interações entre o ciclo hidrológico e a alteração terrestre; 5. Métodos de monitoramento em campo.
Tsukamoto (1998)	Conservação de floresta, água e solo: Hidrogeomorfologia na zona úmida e tectônica	1. Floresta, água e solo nas montanhas no Japão (zona úmida e tectônica); 2. Processos de formação do solo em encostas de montanhas (formação de hidro-geo-biosfera); 3. Hidrogeomorfologia em bacias de ordem zero.; 4. Estrutura e similaridade das bacias hidrográficas; 5. Sistema de drenagem em montanhas; 6. Conservação de floresta e solo; 7. Floresta e escorregamentos; 8. Floresta e ciclo hidrológico; 9. Uso dos serviços florestais; 10. Sistema de redução de riscos e de desastres relacionados a sedimentos.
Babar (2005)	Hidrogeomorfologia: Fundamentis, aplicações e técnicas	1. Introdução; 2. Fundamentos de hidrogeomorfologia; 3. Recursos hídricos; 4. Propriedades de aquíferos; 5. Propriedades hidrológicas da rocha; 6. Hidrogeomorfologia estrutural; 7. Padrão de drenagem e características morfométricas das unidades hidrogeomorfológicas; 8. Hidrogeomorfologia em paisagem; 9. Aplicação de estudos de hidrogeomorfologia; 10. Técnicas em hidrogeomorfologia; 11. Mapeamento hidrogeomorfológico; 12. Hidrogeomorfologia e ambiente social.
Shukla (2017)	Hidro-Geomorfologia: Modelos e tendência.	1. Capítulo introdutório: Geomorfologia; 2. Computação de mudanças hidro-geomorfológicas em duas bacias do nordeste da Grécia; 3. Análise dos impactos das mudanças de vazão e da restauração na evolução morfológica do canal do rio Matambin na baixa St. Lawrence (Quebec, Canadá); 4. Modelagem da encosta costeira e tendência no futuro; 5. Modelo digital de elevação na geomorfologia.

Além dos livros acima apresentados há diversos livros que contém o assunto da hidrogeomorfologia como um dos seus capítulos. Por exemplo, discutindo os aspectos físicos de bacias hidrográficas e seu manejo, DeBarry (2004) apresentou a hidrogeomorfologia no capítulo 5 no seu livro. Montgomery e Bolton (2003) relataram variabilidade hidrogeomorfológica como um dos capítulos do livro sobre restauração fluvial.

A existência de poucos livros especificamente sobre hidrogeomorfologia e a grande variação dos seus conteúdos, ou seja, temáticas não convergentes entre os livros, demonstram que a hidrogeomorfologia é ainda hoje uma ciência nova, emergente e imatura, o que já foi mencionado por Goerl, Kobiyama e Santos (2012). Essa atual situação da hidrogeomorfologia é bem diferente se comparada à hidrologia e à geomorfologia, as quais são ciências consolidadas e bem desenvolvidas.

4.2. Ensino em nível superior no Brasil

O Quadro 3 apresenta as disciplinas relacionadas à hidrogeomorfologia em universidades brasileiras, cujo levantamento foi realizado no mês de outubro de 2021. Observa-se que apenas uma universidade oferece a disciplina de hidrogeomorfologia em nível de graduação, enquanto 5 ofertam na pós-graduação. Embora ofertadas por poucas universidades, essas disciplinas estão concentradas principalmente nas áreas de geografia e de engenharia sanitária e ambiental.

Quadro 3 - Disciplinas relacionadas à hidrogeomorfologia em universidades do Brasil.

Disciplina	Instituição e nível	Ementa ou conteúdo
Hidrogeomorfologia	UFRGS (Graduação em Engenharia Hídrica, Ambiental e Geologia)	Ciclo hidrológico e geomorfológico. Bacias hidrográficas. Interações entre os processos hidrológicos e geomorfológicos. Pedogênese. Rede fluvial. Geometria hidráulica. Geometria fractal. Leis de transporte geomorfológico. Modelos hidrogeomorfológicos. Evolução de paisagem.
Dinâmica hidrogeomorfológica em ambiente amazônico	UFAC (PPG em Geografia - Mestrado)	Evolução do conceito de Hidrogeomorfologia. Aplicações e objetos de estudo. Evolução de paisagens associadas às coberturas superficiais terciárias e quaternárias. Processos hidrogeomorfológicos intra e extra bacia de drenagem. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. Índice hidrogeomorfológico e a avaliação do sistema fluvial. Dinâmica superficial e subsuperficial associados ao uso e cobertura da terra em ambiente tropical amazônico. Riscos e desastres naturais associados à dinâmica de vertentes.
Processos hidrogeomorfológicos	UEPG (PPG em Geografia - Mestrado)	Dinâmica da água nas rochas e nos solos. Principais tipos de processos hidrogeomorfológicos em encostas: origem e evolução. A interface hidrogeomorfologia e recuperação de áreas degradadas.
Uso do solo e dinâmicas hidrogeomorfológicas em bacias hidrográficas	UFFS (PPG em Geografia - Mestrado)	Bacias hidrográficas e hidrogeomorfologia. Processos hidrogeomorfológicos em áreas urbanas e rurais. Métodos e técnicas de mensuração de variáveis hidrogeomorfológicas. Caracterização física de bacias hidrográficas. Relações sociedade-natureza e uso/ocupação do espaço geográfico. Uso do solo e alterações ambientais. Sensoriamento remoto aplicado à análise de bacias hidrográficas. Alterações fluviais: canalização, retificação e represamento. Regime de cursos d'água. Secas e estiagens. Inundações e enchentes.
Processos hidrogeomorfológicos em bacia hidrográfica	UNICENTRO (PPG em Eng. Sanitária e Ambiental - Mestrado)	Conceito de bacia hidrográfica. Noções de sistemas hidrogeomorfológicos. Fatores controladores dos processos hidrogeomorfológicos: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, interceptação das chuvas pela cobertura vegetal, característica das encostas, infiltração, compactação, estabilidade de agregados do solo. Uso e manejo do solo. Impactos ambientais e conservação dos solos: degradação dos solos, problemas ambientais, limite de tolerância de perda do solo, estratégias de conservação dos solos. Levantamento em campo e laboratório. Aplicabilidade de ensaios de monitoramento nas diversas variáveis hidrogeomorfológicas.
Hidrogeomorfologia aplicada para prevenção de desastres hidrológicos	UFRGS (PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Mestrado e Doutorado)	A disciplina busca abordar os conceitos, as classificações e as características dos desastres naturais e hidrológicos, bem como, o gerenciamento de desastres naturais e os processos hidrológicos, geomorfológicos e hidrogeomorfológicos. Além disso, serão também apresentados modelos hidrogeomorfológicos para análise de desastres hidrológicos (escorregamentos e inundação) e modelos para avaliação da evolução da paisagem.

O presente trabalho não avaliou as ementas das disciplinas de geomorfologia ou de hidrologia nos cursos de geografia, geologia, engenharia ambiental, entre outros no país. Contudo, estas disciplinas podem possuir, em seus conteúdos, relação direta ou indireta com a hidrogeomorfologia. Devido à importância da hidrogeomorfologia no SABO, ou, na gestão de desastres relacionados a sedimentos, e também ao avanço atual da mesma, a hidrogeomorfologia deveria ser tratada como uma disciplina independente, em vez de inseri-la dentro de outras disciplinas mais tradicionais tais como a hidrologia, a geomorfologia e a geomorfologia fluvial.

A forte divergência da ementa entre as disciplinas apresentadas no Quadro 3 reflete a falta das informações e dados sobre o tema, o que também foi observado Quadro 2, sobre livros de hidrogeomorfologia. Estes resultados nos alertam para uma necessidade urgente de se realizar pesquisas hidrogeomorfológicas e desenvolver assim o paradigma dessa ciência.

5. RELAÇÃO ENTRE A HIDROGEOMORFOLOGIA E O SABO

Por meio da avaliação dos assuntos necessários a serem estudados, é possível perceber a importância do uso de diversas ciências na estruturação e implementação de SABO. Shimizu (2007) criticou a situação da comunidade de SABO no Japão, pois estaria focada no avanço de SABO por meio de técnicas modernas (VANT, GPS, GPR, etc.) e também com o desenvolvimento de modelos (*softwares*). Assim sendo, a parte científica do SABO não tem avançado no mesmo ritmo da tecnológica, pois o planejamento das medidas estruturais de SABO não tem sido melhorado ou alterado. Para haver um avanço científico concomitante ao avanço técnico, é essencial retomar as ciências básicas (hidrologia, geologia, geomorfologia, ecologia, física, estatística, etc.) e engenharias (engenharia fluvial, engenharia florestal e agrícola, etc.) novamente, inserindo-as em SABO.

Desta maneira uma das ciências que pode ser considerada diretamente conectada ao SABO é a hidrogeomorfologia. Os avanços atuais da hidrogeomorfologia podem contribuir para estudos sobre prevenção de desastres naturais e medidas mitigadoras, principalmente os desastres hidrológicos associados a inundações e movimentos de massa (SIDLE; ONDA, 2004). Realizando uma revisão bibliográfica, Goerl, Kobiyama e Santos (2012) também manifestaram que a hidrogeomorfologia possui uma elevada potencialidade de contribuir ao estudo sobre fenômenos naturais que causam os desastres relacionados a sedimentos. De fato, esses desastres podem ser considerados também como desastres hidrogeomorfológicos, pois sua deflagração depende de condições tanto geomorfológicas quanto hidrológicas. Considerando os processos hidrogeomorfológicos como perigos geomorfológicos (*geomorphological hazards*), Okunishi (2002) mencionou que a geomorfologia de desastres (*disaster geomorphology*) equivale à hidrogeomorfologia e mostrou sua grande aplicabilidade e contribuição para a redução de risco de desastres relacionados a sedimentos.

Observando as práticas do SABO no mundo e no Brasil por meio da ampla literatura japonesa e o ensino do mesmo com base nos conteúdos apresentados de diversos livros japoneses, identifica-se que o SABO (uma ciência-tecnologia-cultura de caráter holístico e interdisciplinar) necessita das seguintes informações básicas: características espaços-temporais de chuva; intemperismo; formação do solo (especialmente a espessura do solo); dinâmica de água em encosta; resistência mecânica do solo; morfometria de encosta e de canal fluvial; estabilidade de taludes em margens fluviais; mecânica de fluxo de água e transporte de sedimentos em rios; deposição dos sedimentos em rios e em leque aluvial; e balanço de sedimentos (*sediment budget*).

Como o SABO está fortemente aliado à silvicultura, manejo florestal e serviços ecossistêmicos da floresta, a dinâmica e o balanço dos materiais relacionados devem ser abordados, não somente para sedimentos de origem rochosa mas também para detritos lenhosos. Portanto, fica evidente a necessidade de investigar as funções do ecossistema florestal que se localiza no espaço físico onde permanentemente ocorrem as interações entre os processos hidrológicos e geomórficos. No caso de um país tropical como Brasil, que é caracterizado com altas temperaturas e grandes volumes de chuva

anual, a produtividade da biomassa florestal torna-se, em geral, maior. Por exemplo, Grace (1988) e Salimon e Anderson (2018) demonstraram que a produtividade de plantas aumenta com o aumento de temperatura e de chuva, respectivamente. Portanto, a hidrogeomorfologia no Brasil necessita estudar os processos geomorfológicos, biológicos hidrológicos e suas interações. Nesse caso, essa ciência se torna similar à geo-bio-hidrologia a qual Kobiyama, Genz e Mendiando (1998) já tinham definido como uma ciência que estuda as interações entre os processos geomorfológicos, biológicos hidrológicos e serve para gestão de bacias hidrográficas especialmente na zona ripária.

Ao concluir uma revisão da ocorrência de fluxo de detritos e seus estudos associados no Brasil, Kobiyama, Michel e Goerl (2019) sugeriram cinco ações urgentes para as organizações brasileiras, sendo uma delas o aprofundamento das pesquisas sobre a dinâmica do fluxo de detritos lenhosos. Os problemas socio-econômico-ambientais associados aos detritos lenhosos em rios são universais, tornando-se cada vez mais sérios (FETHERSTON; NAIMAN; BILBY, 1995; LANCASTER; HAYES; GRANT, 2003; CORENBLIT et al., 2007; FREMIER; SEO; NAKAMURA, 2010; RUIZ-VILLANUEVA et al., 2014, 2018; MIZUHARA, 2016; KOBİYAMA; MICHEL; GOERL, 2019; PANICI et al., 2020). Portanto, o conhecimento das características de detritos lenhosos ao longo dos canais dos rios é essencial (CAMPAGNOLO; KOBİYAMA, 2021). Segundo Campagnolo, Kobiyama e Fan (2020), há poucos trabalhos sobre a dinâmica dos detritos lenhosos no Brasil. Sendo assim, a hidrogeomorfologia no Brasil deve dar mais atenção à dinâmica dos detritos lenhosos.

Todas as informações acima mencionadas nos permitem compreender os mecanismos dos fenômenos naturais que podem causar os desastres relacionados a sedimentos. São eles: erosão superficial (erosão difusa, sulco e voçoroca) e movimento de massa (rastejamento, queda de blocos, escorregamento e fluxo de detritos). Além disso, outro fenômeno relacionado à água que severamente causa desastre no ambiente montanhoso é a inundação brusca (*flash flood*). Como a ocorrência deste tipo de desastre vem sendo intensificada, a comunidade científica precisa investigar esse fenômeno sob a ótica da hidrogeomorfologia (BORGA et al., 2014; BRAUD et al., 2016; ETTINGER et al., 2016). Quando a inundação brusca envolve a dinâmica de detritos lenhosos, o desastre se torna ainda mais severo (LUCÍA et al., 2015). Salienta-se que esses fenômenos devem ser tratados em nível de bacias hidrográficas, como foi demonstrado por Scorpio et al. (2018).

Após a obtenção das informações de tais fenômenos naturais, será possível aprender a parte prática do SABO, isto é, mapeamento de áreas susceptíveis, estabelecimento de sistema de alerta, construção de barragens de SABO e seus assessorios, tais como revestimento de margens fluviais e reflorestamento em encostas, conscientização de moradores de áreas de risco, recuperação de áreas degradadas e/ou afetadas, entre outras.

Com base em todas as discussões acima colocadas, a Figura 2 apresenta a relação entre a hidrogeomorfologia e o SABO, bem como um conteúdo mínimo da disciplina Hidrogeomorfologia proposta para cursos de geografia, geologia, engenharias, etc. Como a abrangência dos assuntos é bastante ampla, seria ideal criar uma disciplina independente do curso, ou seja, não inserir tópicos hidrogeomorfológicos dentro de disciplinas já existentes (e.g. geomorfologia). Assim, tópicos relacionados a prevenção de desastres naturais, dinâmica da água na encosta, entre outros, devem estar inseridos dentro da disciplina de Hidrogeomorfologia, e não o contrário. Para abordar a disciplina de SABO nos cursos de engenharia, os assuntos relacionados à hidrogeomorfologia devem ser indispensavelmente pré-requisitos. Ressalta-se que o conteúdo da hidrogeomorfologia é um conjunto de hidrologia, hidráulica fluvial, pedologia, mecânica do solo e geomorfologia. Entretanto, esse conjunto deve ter caráter não multidisciplinar, mas sim interdisciplinar.

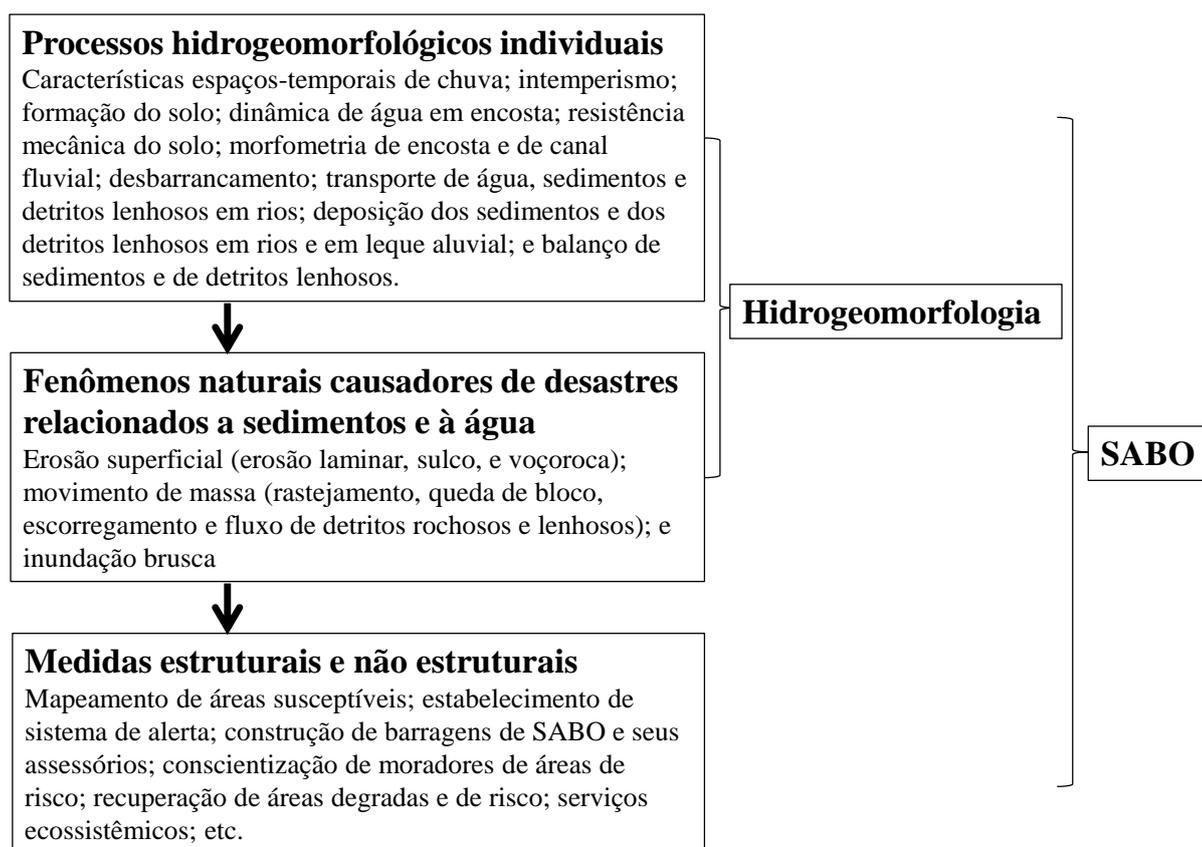


Figura 2 - Conteúdos mínimos da hidrogeomorfologia voltada ao SABO.

O procedimento de predição de escorregamento e fluxo de detritos com índice de chuva tem diversas limitações (OSANAI et al., 2010). Essas limitações resultam da complexidade da região de ocorrência, como as características das encostas e dos solos (geomorfologia e pedologia), conforme ressaltaram Hayashi e Yamada (2013), que discutiram o uso de Tank Model para essa predição. Desta forma, o estudo da chuva a fim de compreender o mecanismo de movimento de massa junto com a erosão superficial deve ser fundamental e indispensável.

A situação atual da ocorrência de desastres naturais associados aos fluxos de detritos no Brasil é bastante preocupante (KOBİYAMA; MICHEL; GOERL, 2019). A hidrogeomorfologia no Brasil precisa dar atenção especial à compreensão do mecanismo de fluxo de detritos e de medidas preventivas para reduzir seus correspondentes desastres. Com base no ensinamento de Leopold (2004), isto é, a escolha dos problemas para se trabalhar é crucial no avanço da geomorfologia, pode-se dizer que a escolha do fluxo de detritos é de extrema importância no avanço da hidrogeomorfologia.

O conteúdo da disciplina de hidrogeomorfologia pode ser diferenciado entre graduação e pós-graduação. No caso de nível de pós-graduação, a disciplina poderia tratar de grandes problemas a serem resolvidos com essa ciência. A manifestação de Leopoldo (2004) acima mencionada se torna ainda mais relevante em nível de pós-graduação.

Citando uma famosa manifestação de Hilbert (1902) que apresentou 23 grandes problemas não resolvidos no mundo de matemática, Blöschl et al. (2019) propuseram o mesmo número de problemas não resolvidos no mundo da hidrologia. A proposta desses autores foi construída com base na realização de diversos seminários presenciais e a distância, buscando assim avançar ainda mais a hidrologia. Este tipo de colocação de problemas não resolvidos encontra-se em outras ciências, por exemplo, na geologia (DAWSON, 1883), sociologia matemática (HASHIZUME, 1995), ecologia (SUTHERLAND et al., 2013), geologia quaternária e geomorfologia (FORMAN; STINCHCOMB, 2015), geociência (ACOCCELLA, 2015), biologia (DEV, 2015), e química (RANDIC, 2017). Então,

similarmente, a hidrogeomorfologia também deveria demonstrar seus grandes problemas, os quais certamente avançarão esta ciência.

Sendo assim, os grandes problemas que podem ser a locomotiva no avanço da hidrogeomorfologia são: (i) Relação magnitude-frequência de todos os processos de produção de sedimento, os quais incluem erosão superficial e movimento de massa; (ii) distribuição espacial da espessura do solo; (iii) desenvolvimento temporal da espessura do solo; (iv) imunidade da encosta contra movimentos de massa; (v) chuva crítica para deflagrar escorregamento e fluxo de detritos; (vi) distribuição radicular em encosta; (vii) formação e distribuição espacial de *pipe* no solo; (viii) dinâmica e balanço de detritos lenhosos em rios; (ix) relação entre morfometria da bacia e tipos de perigos e desastres naturais; e (x) dinâmica da água na zona hiporrêica. As soluções de todos esses problemas são certamente úteis para melhorar as práticas do SABO. Para ter consenso dos grandes problemas na hidrogeomorfologia, pesquisadores dessa área no Brasil deverão realizar seminários similares àqueles de Blöschl et al. (2019).

Maita, Marutani e Nakamura (1994) encontraram dificuldades e até erros significativos para replicação dos resultados obtidos em laboratório para processos reais, em nível de bacia, enfatizando a importância de monitoramento em campo por longos períodos. Para desenvolver melhor o SABO, os autores recomendaram realizar pesquisas científicas sobre balanço de sedimentos e acompanhamento dos mesmos (*sediment budget and routing*), abordagem esta que foi iniciada por Dietrich e Dunne (1978). As manifestações de Maita, Marutani e Nakamura (1994) são válidas ainda hoje. Nesse caso, é ideal também inserir no balanço de sedimentos o balanço de detritos lenhosos. Portanto, a disciplina de hidrogeomorfologia deverá tratar do balanço de sedimentos e seu monitoramento em nível de bacia hidrográfica. Nesse caso, a sociedade deverá implementar bacias-escola para tal finalidade (KOBİYAMA et al., 2020b).

Assim, por meio da cooperação social entre pesquisadores e cidadãos comuns, a hidrogeomorfologia deve ser desenvolvida a fim de que seja aplicada na sociedade. Na província de British Columbia no Canadá, Wilford, Sakals e Innes (2005) e Wilford et al. (2009) apresentaram manuais de manejos de floresta e de bacias hidrográficas com ênfase na abordagem hidrogeomorfológica, a fim de reduzir principalmente desastres relacionados a sedimentos nas regiões de leques aluviais. Estes trabalhos podem ser considerados bons exemplos da aplicação da hidrogeomorfologia no SABO. Salienta-se que estes dois trabalhos foram desenvolvidos exclusivamente para a região de leque aluvial onde ocorrem predominantemente processos hidrogeomorfológicos. Esta combinação de processos e morfologia vem sendo relatada em vários locais no mundo (por exemplo, OKUNISHI; SUWA, 2001; WILFORD et al., 2005; MARCHI; CAVALLI; D'AGOSTINO, 2010; VASCONCELLOS et al., 2021). Por causa de sua condição geográfica, os leques aluviais vêm sendo cada vez mais ocupados por atividades humanas (BOWMAN, 2019), o que conseqüentemente aumenta os desastres relacionados a sedimentos (ASHIDA, 1985; TAKAHASHI et al., 2001; SCHEINERT; WASKLEWICZ; STALEY, 2012; MAZZORANA; GHIANDONI; PICCO, 2020). Então, sem dúvida, o leque aluvial é uma das paisagens geomorfológicas que necessitam a aplicação de SABO com base nos estudos hidrogeomorfológicos.

A hidrogeomorfologia pode ser considerada como possuidora de uma interdisciplinaridade antiga, mas ainda relevante tanto para a hidrologia quanto para a geomorfologia, sendo constantemente renovada por novas técnicas e novas questões (CUDENNEC; LAVENNE, 2015). Segundo os autores, as questões são os desafios de compreender bacias sem monitoramento; mudanças antropogênicas nas forças causadoras, estruturas da paisagem e funções dinâmicas; transferência da ciência para a prática; e análises retrospectivas e prospectivas. Essas questões cabem perfeitamente ao caso na aplicação da hidrogeomorfologia para o SABO.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de levantamento bibliográfico, foram apresentados os aspectos gerais de SABO que devem se tornar cada vez mais populares no Brasil, devido ao aumento significativo de desastres relacionados a sedimentos. Observando as práticas desta técnica no Japão e no Brasil, a hidrogeomorfologia deve ser uma das ciências essenciais para o SABO.

Esse aumento dos desastres naturalmente tem forçado o aumento do número de publicações na área de hidrogeomorfologia, tanto no mundo quanto no Brasil. Entretanto, esse número no Brasil é muito pequeno comparado com a magnitude dos desastres relacionados a sedimentos no país. Assim, é necessário oferecer a disciplina de hidrogeomorfologia em diversos cursos de ensino superior no Brasil. A popularização dessa ciência certamente possibilitará e facilitará que cada cidadão conheça a hidrogeomorfologia e compreenda os processos hidrogeomorfológicos envolvidos. Isso apoiará a gestão integrada de desastres naturais, recursos hídricos, meio ambiente, entre outros, melhorando assim a qualidade de vida e bem estar social.

Como apresentado na introdução, recentes desastres mais proeminentes de sedimentos no Brasil podem ser associados ao rompimento de barragens e fluxos de detritos. A redução deste tipo de desastre pode ser realizada por meio de aplicação do SABO, aliado ao monitoramento das bacias hidrográficas e implementação de bacias-escola. Assim sendo, a importância da hidrogeomorfologia na execução de SABO e também no setor da segurança de barragens é indiscutível.

Diferenças terminológicas e conceituais sobre o tema ocorrem em diferentes países do mundo, o que gera confusão para a realização de pesquisas. Indicando esse problema, especialmente na área de geomorfologia fluvial e redução de riscos em rios montanhosos, e ainda comentando a existência de enorme quantidade de publicação em diversos idiomas tais como japonês, italiano, francês, alemão, inglês, coreano, chinês e espanhol, Camiré, Piton e Schwindt (2019) apresentaram um léxico de termos técnicos em francês, inglês e alemão, bem como suas definições relacionadas à geomorfologia fluvial e redução de risco de rios montanhosos. Aprendendo com esse léxico, no futuro próximo, o semelhante trabalho entre português e japonês deverá ser feito na área de hidrogeomorfologia e SABO.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES-ANA (Edital Pró-Recursos Hídricos, chamada nº 16/2017) pelo apoio financeiro para pesquisas nas áreas montanhosas, na qual o presente trabalho foi parcialmente inserido.

REFERÊNCIAS

- ACOCELLA, V. Grand challenges in Earth science: research toward a sustainable environment. **Frontiers in Earth Science**, v.3, article 68, 2015.
- AGONE, V. **Hydrogeomorphic analysis of Tittur drainage basin**. Sarbruque: Lambert Academic Publishing, 2014. 412p.
- ALMEIDA, C.A.; OLIVEIRA, A.F.; PACHECO, A.A.; LOPES, R.P.; NEVES, A.A.; QUEIROZ, M.E.L.R. Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin – Brazil. **Chemosphere**, v.209, p.411–420, 2018.
- ALMEIDA, I.M.; JACKSON FILHO, J.M.; VILELA, R.A.G. Reasons for investigating the organizational dynamics of the Vale tailings dam disaster in Brumadinho, Minas Gerais State, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.35, n.4,

ee00027319, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação.** Brasília: ANA, GGES, 2016. 93p.

ANNIS, A.; NARDI, F.; MORRISON, R.; CASTELLI, F. Investigating hydrogeomorphic floodplain mapping performance with varying DTM resolution and stream order. **Hydrological Science Journal**, v.64, p.525-538, 2019.

ASHIDA, K. (ed.) **Sediment-related disasters in alluvial fans: Occurrence mechanism and reduction.** Tokyo: Kokonshoin, 1985. 224p. (em japonês)

BABAR, Md. **Hydrogeomorphology: Fundamentals, applications and techniques.** New Delhi: New India Publication Agency, 2005. 274p.

BAKER, V.R. Hydrogeomorphic methods for the regional evaluation of flood hazards. **Environmental Geology**, v.1, p.261–281, 1976.

BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster Category – Classification and peril Terminology for Operational Purposes.** Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2009. 19p.

BLÖSCHL, G. et al. Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. **Hydrological Sciences Journal**, v.64, p.1141-1158, 2019.

BORGA, M.; STOFFEL, M.; MARCHI, L.; MARRA, F.; JAKOB, M. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. **Journal of Hydrology**, v.518, p.194–205, 2014.

BOWMAN, D. **Principles of Alluvial Fan Morphology.** Dordrecht: Springer Nature, 2019. 151p.

BRASIL Lei No. 12. 608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil.** Brasília: Brasil, 2012.

BRAUD, I.; BORGA, M.; GOURLEY, J.; HÜRLIMANN, M.; ZAPPA, M.; GALLART, F. Editorial – Flash floods, hydro-geomorphic response and risk management. **Journal of Hydrology**, v.541, p.1–5, 2016.

CAMIRÉ, G.F.; PITON, G.; SCHWINDT, S. Hydrogeomorphology and steep creek hazard mitigation lexicon: French, English and German. In: 7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment (2019, Golden), **Proceedings**, 2019. p.589-596.

CAMPAGNOLO, K.; KOBİYAMA, M. Woody debris characterization in a small basin with araucaria forest. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.22, p.463-474, 2021.

CAMPAGNOLO, K.; KOBİYAMA, M.; FAN, F.M. Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil. **Ciência e Natura**, v.42, e62, 2020.

CHANSON, H. Sabo check dams - mountain protection systems in Japan. **International Journal of River Basin Management**, v.2, n.4, p.301–307, 2004.

COATES, D.R. Hydrogeomorphology of Susquehanna and Delaware Basins. In: MORISAWA, M.E. (ed.) **Quantitative Geomorphology.** Binghamton: Publications in Geomorphology, 1971. p.272–306.

COELHO NETTO, A.N.; SATO, A.M.; AVELAR, A.S.; VIANNA, L.G.G.; ARAÚJO, I.S.; FERREIRA, D.L.C.; LIMA, P.H.; SILVA, A.P.A.; SILVA, R.P. January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. In: MARGOTTINI, C.; CANUTI, P.; SASSA, K. (eds.) **Landslide Science and Practice. v.6.** Berlin: Springer-Verlag, 2013. p.377-384.

CORENBLIT, D.; TABACCHI, E.; STEIGER, J.; GURNELL, A.M. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. **Earth-Science Reviews**, v.84, p.56–86, 2007.

CRUZ, P.T.; MASSAD, F.; KANJI, M.A.; UEHARA, K.; ISHITANI, H.; TEZUKA, Y.; ARAÚJO FILHO, H.A. Sabo works: A pioneering experience in Brazil. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.11, p.39-50, 2019.

- CUDENNEC, C.; LAVENNE, A. Editorial: Hydrogeomorphology – a long-term scientific interface. **Hydrology Research**, v.46, p.175-179, 2015.
- DAWSON, J.W. Some unsolved problems in geology. **Nature**, v.28, p.449-455, 1883.
- DeBARRY, P.A. **Watersheds: Processes, Assessment and Management**. Chichester: John-Wiley, 2004. 720p.
- DEV, S.B. Unsolved problems in biology-The state of current thinking. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v.117, n.2-3, p.232-239, 2015.
- DI GREGORIO, L.T.; GRAMINHA, C.A.; LEAL, P.J.V.; NERY, T.D. Contributions of GIDES Project for Sediment Disaster Early Warnings in Brazil. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.11, p.73-84, 2019.
- DIETRICH, W.E.; DUNNE, T. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. **Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement**, v.29, p.191-206, 1978.
- ESTRELLA, M.; SAALISMAA, N. Ecosystem-based Disaster Risk Reduction (Eco-DRR): An Overview. In: RENAUD, F.; SUDMEIER-RINEUX, K.; ESTRELLA, M. (eds.) **The role of ecosystem management in disaster risk reduction**. Tokyo: UNU Press, 2013. p.26-54.
- ETTINGER, S. et al. Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. **Journal of Hydrology**, v.541, p.563–581, 2016.
- FETHERSTON, K.L.; NAIMAN, R.J.; BILBY, R.E. Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest. **Geomorphology**, v.13, p.133-144, 1995.
- FORMAN, S.L.; STINCHCOMB, G.E. Views on grand research challenges for Quaternary geology, geomorphology and environments. **Frontiers in Earth Science**, v.3, article 47, 2015.
- FRANK, B.; SEVEGNANI, L. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. 192p.
- FRANKL, A.; NYSSSEN, J.; VANMAERCKE, M.; POESEN, J. Gully prevention and control: Techniques, failures and effectiveness. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.46, p.220–238, 2021.
- FREMIER, A.K.; SEO, J.I.; NAKAMURA, F. Watershed controls on the export of large wood from stream corridors. **Geomorphology**, v.117, p.33-43, 2010.
- GIUSTINA, Y.R.D. Project for Strengthening National Strategy of Integrated Natural Disaster Risk Management, GIDES Project, in Brazil. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.11, p.51-53, 2019.
- GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: Princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.103-111, 2012.
- GRACE, J. Temperature as a determinant of plant productivity. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, v.42, p.91-107, 1988.
- GREGORY, K.J. Hydrogeomorphology: how applied should we become? **Progress in Physical Geography**, v.3, p.84-101, 1979.
- HANDA, K. Short-term dispatch expert in the JICA Project for strengthening national strategy of integrated national disaster risk management in Brazil. **SABO**, v.116, p.44-49, 2014. (em japonês)
- HASHIZUME, D. Problems for mathematical sociologists. **Sociological Theory and Methods**, v.10, n.1, p.65-71, 1995. (em japonês)
- HAYASHI, S. **Introduction to Conservational SABO for nature conservation: Prediction of sediment disasters and its prevention**. Tokyo: Denki-Shoin, 2008. 293p. (em japonês)

- HAYASHI, S.; YAMADA, T. Study on the coefficient of effective rainfall amount in recent sediment disasters. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.66, n.2, p.31-39, 2013. (em japonês com abstract)
- HILBERT, D. Mathematical problems. **Bulletin of the American Mathematical Society**, v.8, p.437-479, 1902.
- IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. (no prelo).
- IPR – Interpraevent 2002 in the Pacific Rim. **SABO in Japan**. Tokyo: Sabo Publicity Center, 2003. 122p.
- KAIBORI, M. SABO as integrated science. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.71, n.2, p.1-2, 2018. (em japonês)
- KANJI, M.A.; CRUZ, P.T.; MASSAD, F. Debris flow affecting the Cubatão Oil Refinery, Brazil. **Landslides**, v.5, p.71–82, 2008.
- KATO, T. Steel-grid type soil-cement SABO dam promotion project in Brazil. **SABO**, v.124, p.26-29, 2018. (em japonês)
- KENNY, R. Hydrogeomorphic flood hazard evaluation for semi-arid environments. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 23, 333-336, 1990.
- KOBASHI, S. (ed.) **Mountain conservation**. Tokyo: Bun-eido, 1993. 280p. (em japonês)
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P.; GOERL, R.F. Proposal of debris flow disasters management in Brazil based on historical and legal aspects. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.11, n.3, p.85-93, 2019.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; FAN, F.M.; CORSEUIL, C.W.; MICHEL, G.P.; DULAC, V.F. Abordagem integrada para gerenciamento de desastres em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n. esp, p.31-65, 2018.
- KOBIYAMA, M.; CAMPAGNOLO, K.; MENEZES, D.; PAIXÃO, M.A. Manejo da zona ripária para redução de risco de desastres no ambiente montanhoso. In: MAGNONI JR, L.; FREITAS, C.M.; LOPES, E.S.S.; CASTRO, G.R.B.; BARBOSA, H.A.; LONDE, L.R.; MAGNONI, M.G.M.; SILVA, R.S.; TEIXEIRA, T.; FIGUEREIDO, W.S.(orgs.) **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2. ed.** São Paulo: CPS, 2020a. p.764-794.
- KOBIYAMA, M.; VANELLI, F.M.; OLIVEIRA, H.U.; VASCONCELLOS, S.M.; CAMPAGNOLO, K.; BRITO, M.M. MOREIRA, L.L. Uso da bacia-escola na redução do risco de desastres: uma abordagem socio-hidrológica. In: MAGNONI JR, L.; FREITAS, C.M.; LOPES, E.S.S.; CASTRO, G.R.B.; BARBOSA, H.A.; LONDE, L.R.; MAGNONI, M.G.M.; SILVA, R.S.; TEIXEIRA, T.; FIGUEREIDO, W.S.(orgs.) **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2. ed.** São Paulo: CPS, 2020b. p.560-583.
- KOMAMURA, F. **Mountain conservation and SABO engineering**. Tokyo: Morikita Shuppan, 1978. 228p. (em japonês)
- KURISHIMA, A. Administrative background of the term “Sabo”. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.67, n.1, p.35-40, 2014. (em japonês com abstract)
- LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K.; GRANT, G.E. Effects of wood on debris flow runoff in small mountain watersheds. **Water Resources Research**, v.39, 1168, 2003. doi:10.1029/2001WR001227
- LEOPOLD, L.B. Geomorphology: A Sliver off the corpus of science. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.32, p.1-12, 2004.
- LUCÍA, A.; COMITI, F.; BORGA, M.; CAVALLI, M.; MARCHI, L. Dynamics of large wood during a flash flood in two mountain catchments. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.15, p.1741–1755, 2015.
- MAITA, H.; MARUTANI, T.; NAKAMURA, F. The significance and the role of geomorphic studies of mountain streams. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.46, n.5, p.19-28, 1994. (em japonês com abstract)
- MARCHI, L.; CAVALLI, M.; D’AGOSTINO, V. Hydrogeomorphic processes and torrent control works on a large alluvial fan in the eastern Italian Alps. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.10, p.547–558, 2010.

- MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.83-96, 2008.
- MARUTANI, T. (ed.) **SABO**. Tokyo: Asakura, 2019. 244p. (em japonês)
- MAZZORANA, B.; GHIANDONI, E.; PICCO, L. How do stream processes affect hazard exposure on alluvial fans? Insights from an experimental study. **Journal of Mountain Science**, v.17, p.753-772, 2020.
- MINAMI, N.; OSANAI, N. (eds.) **Introduction to modern SABO science**. Tokyo: Kokonshoin, 2014. 192p. (em japonês)
- MIZUHARA, K. Consideration on the disaster and its prevention mitigation measures by a large amount of wood flowing out with debris flow. **Water Science**, v.60, n.5, p.1-46, 2016. (em japonês)
- MIZUYAMA, T. Sediment hazards and SABO works in Japan. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.1, p.1-4, 2008.
- MONTGOMERY, D.R.; BOLTON, S.M. Hydrogeomorphic variability and river restoration. In: WISSMAR, R.C.; BISSON, P.A. (eds.) **Strategies for restoring river ecosystems: sources of variability and uncertainty in natural and managed systems**. Bethesda: American Fisheries Society, 2003. p.39–80.
- MOOS, C.; BEBIC, P.; SCHWARZ, M.; STOFFEL, M.; SUDMEIER-RIEUXG, K.; DORREN, L. Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. **Earth-Science Reviews**, v.177, p.497–513, 2018.
- NAKAMURA, F. New environmental perspectives for Japanese Erosion Control Engineering. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.45, n.3, p.29-37, 1992. (em japonês com abstract)
- NARDI, F.; MORRISON, RR, ANNIS, A.; GRANTHAM, T.E. Hydrologic scaling for hydrogeomorphic floodplain mapping: insights into human-induced floodplain disconnectivity. **River Research and Applications**, v.34, p.675–685, 2018.
- NBSAP Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction in Japan: A Handbook for Practitioners**. Tokyo: Ministry of the Environment, 2016. 24p.
- NEHREN, U.; SUDMEIER-RIEUX, K.; SANDHOLZ, S.; ESTRELLA, M.; LOMARDA, M; GUILLÉN, T. **The Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction Case Study and Exercise Source Book**. Geneva: Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction/ Cologne: Center for Natural Resources and Development, 2014. 98p.
- NICU, I.C. **Hydrogeomorphic Risk Analysis Affecting Chalcolithic Archaeological Sites from Valea Oii (Bahlui) Watershed, Northeastern Romania**. Heidelberg: Springer, 2016. 87p. (Springer Briefs in Earth System Sciences).
- NISHIMOTO, H. Condition of the education on SABO in the incipient period of modern SABO. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.70, n.5, p.15-23, 2018. (em japonês com abstract)
- NOGUCHI, Y.; TAKEI, A.; MURANO, Y.; KAWATA, G.; HIOKI, S.; ENDO, R.; OKAZAKI, T.; SUE, K. MURAI, N. **SABO Engineering**. Tokyo: Asakura Shoten, 1969. 191p. (em japonês)
- OHTA, T.; TAKAHASHI, G. (eds.) **Erosion control and ecological management of mountain streams**. Tokyo: University of Tokyo Press, 1999. 246p. (em japonês)
- OKUNISHI, K. Concept and methodology of hydrogeomorphology. **Transactions, Japanese Geomorphological Union**, v.15A, p.5-18, 1994.
- OKUNISHI, K. Methodology of hydrogeomorphology and its contribution to the control of geomorphic hazards. **Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University**, n.45-A, p.17-27, 2002. (em japonês com abstract)
- ONDA, Y.; OKUNISHI, K.; IIDA, T. TSUJIMURA, M. **Hydrogeomorphology: The interaction of hydrologic and geologic processes**. Tokyo: Kokon Shoin, 1996. 267p. (em japonês)
- OSANAI, N.; SHIMIZU, T.; KURAMOTO, K.; KOJIMA, S.; NORO, T. Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network. **Landslides**, v.7, p.325–338, 2010.

- PANICI, D.; KRIPAKARAN, P.; DJORDJEVIC, S.; DENTITH, D. A practical method to assess risks from large wood debris accumulations at bridge piers. **Science of the Total Environment**, v.728, 138575, 2020.
- PATTON, P.C.; BAKER, V.R. Morphology and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. **Water Resources Research**, v.12, p.941–952, 1976.
- RANDIC, M. On solved and unsolved problems in chemistry. **Journal of Computer Chemistry, Japan**, v.16, n.2, p.42-46, 2017.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; DÍEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M.; BLADÉ, E. Large wood in rivers and its influence on flood hazard. **Cuaderno de Investigación Geográfica**, v.40, p.229-246, 2014.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; DÍEZ-HERRERO, A.; GÁRCIA, J.A.; OLLERO, A.; PIÉGAY, H.; STOFFEL, M. Does the public's negative perception towards wood in rivers relate to recent impact of flooding experiencing? **Science of the Total Environment**, v.635, p.294-307, 2018.
- SALIMON, C.; ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and Caatinga productivity? A case study under a changing climate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90(2 Suplemento), p.2121-2127, 2018.
- SCHEIDEGGER, A.E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, v.20, p.193-215, 1973.
- SCHEINERT, C.; WASKLEWICZ, T.; STALEY, D. Alluvial fan dynamics – revisiting the field. **Geography Compass**, v.6, p.752–775, 2012.
- SCORPIO, V. et al. Basin-scale analysis of the geomorphic effectiveness of flash floods: A study in the northern Apennines (Italy). **Science of the Total Environment**, v.640–641, p.337–351, 2018.
- SHIMIZU, H. What is the scientific awareness of Sabo practices? Heading toward the renovation of erosion control engineering in Japan. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.60, n.2, p.66-73, 2007. (em japonês)
- SHUKLA, D. (ed.) **Hydro-Geomorphology: Models and Trends**. London: IntechOpen Limited, 2017. 112p. Acesso em: <https://www.intechopen.com/books/hydro-geomorphology-models-and-trends>
- SIDLE, R.C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, v.18, p.597-602, 2004.
- SUTHERLAND, W.J. et al. Identification of 100 fundamental ecological questions. **Journal of Ecology**, v.101, p.58–67, 2013.
- TAKAHASHI, T.; NAKAGAWA, H.; SATOFUKA, Y.; KAWAIKE, K. Flood and Sediment Disasters Triggered by 1999 Rainfall in Venezuela; A River Restoration Plan for an Alluvial Fan. **Journal of Natural Disaster Science**, v.23, n.2, p.65-82, 2001.
- TAKEI, A. **SABO**. Tokyo: Sankaido, 1990. 243p. (em japonês)
- TAKEI, A. (ed.) **SABO engineering**. Tokyo: Bun-eido, 1993. 306p. (em japonês)
- TAVARES DA COSTA, R.T.; MANFREDA, S.; LUZZI, V.; SAMELA, C.; MAZZOLI, P.; CASTELLARIN, A.; BAGLI, S. A web application for hydrogeomorphic flood hazard mapping. **Environmental Modelling and Software**, v.118, p.172–186, 2019.
- TSUKAMOTO, Y. **Conservation of forest, water and soil: Hydrogeomorphology in humid and tectonic zone**. Tokyo: Asakura Publ., 1998. 138p. (em japonês)
- TSUKAMOTO, Y.; KOBASHI, S. (eds.) **New SABO Engineering**. Tokyo: Asakura, 1991. 193p. (em japonês)
- UCHIDA, T.; NISHIMOTO, H.; OSANAI, N.; SHIMIZU, T. Countermeasures for sediment-related disasters in Japan

using hazard maps. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.2, n.2, p.46-53, 2009.

VASCONCELLOS, S.M.; KOBİYAMA, M.; DAGOSTIN, F.S.; CORSEUIL, C.W.; CASTIGLIO, V.S. Flood hazard mapping in alluvial fans with computational modeling. **Water Resources Management**, v.35, p.1463–1478, 2021.

WILFORD, D.J.; SAKALS, M.E.; INNES, J.L. **Forest management on fans: hydrogeomorphic hazards and general prescriptions**. Victoria: British Columbia Ministry of Forests and Range, Forest Science Program, 2005. 35p. (Land Management Handbook 57).

WILFORD, D.J.; SAKALS, M.E.; INNES, J.L.; SIDLE, R.C. Fans with forests: contemporary hydrogeomorphic processes on fans with forests in west central British Columbia, Canada. In: HARVEY, A.M.; MATHER, A.E.; STOKES, M. (eds.) **Alluvial fans. Geomorphology, sedimentology and dynamics**. London: The Geological Society, 2005. P.25–40. (Special Publication, v.251).

WILFORD, D.J.; SAKALS, M.E.; GRAINGER, W.W.; MILLARD, T.H.; GILES, T.R. **Managing forested watersheds for hydrogeomorphic risks on fans**. Victoria: British Columbia Ministry of Forests and Range, Forest Science Program, 2009. 62p. (Land Management Handbook 61).

YAMAGUCHI, I. **SABO engineering**. Tokyo: Chikyusha, 1985. 325p. (em japonês)

YAMAGUCHI, S.; OSANAI, N. History and transition of the policies on Sabo projects. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.65, n.2, p.40-50, 2012. (em japonês)

YAMAKOSHI, T. After finishing the JICA Project for strengthening national strategy of integrated national disaster risk management in Brazil. **SABO**, v.123, p.32-36, 2018. (em japonês)

YAMAKOSHI, T.; NARUTO, A.; IWANAMI, H.; NISHIMURA, T.; GONAI, Y.; SHIMODA, Y.; TAKESHITA, H.; YANG, P. Project for strengthening national strategy of integrated national disaster risk management. **Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering**, v.71, n.1, p.43-52, 2018. (em japonês)

ZEMA, D.A.; BOMBINO, G.; DENISI, P.; LUCAS-BORJA, M.E.; ZIMBONE, S.M. Evaluating the effects of check dams on channel geometry, bed sediment size and riparian vegetation in Mediterranean mountain torrents. **Science of the Total Environment**, v.642, p.327–340, 2018.